SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

L'I.A. au service de L'INTELLIGENCE HUMAINE

p. 24

- Intuition
- Prise de décision
- Mémoire

ASTÉROÏDES
Ils racontent l'histoire de l'Univers
p. 36

Découverte sur la TOXOPLASMOSE
p. 64

SCIENCES ET AVENIR / LA RECHERCHE - N° 886 - DÉCEMBRE 2020 - L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE AU SERVICE DE L'INTELLIGENCE HUMAINE
DÉCEMBRE 2020 - N° 886 - ALLEMAGNE 7,40 € / AUTRICHE 6,50 € / ITALIE 5,70 € / LUXEMBOURG 5,70 € / GRÈCE 5,70 € / BELGIQUE 5,70 € / ESPAGNE 5,70 € / DOM 5,90 € / ANDORRE 5,40 € / PORTUGAL 5,70 € / TOM 800 XPF / ILE MAURICE : 8,60€ / TOM (AVION) 1500 XPF / SUISSE 9,50 CHF / TUNISIE 10 TND / MAROC 55 DH / CANADA-USA 8,20 $
L 13418 - 886 S - F: 5,30 € - RD

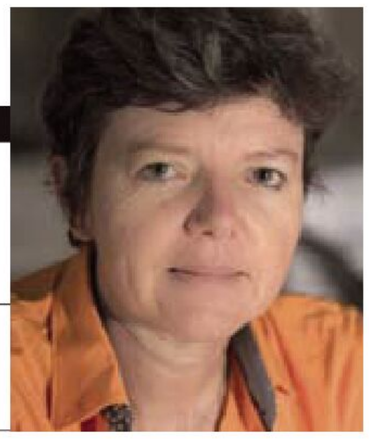
©METAMORWORKS/GETTY IMAGES - SUDO TAKESHI/GETTY IMAGES

PERRINE LAFFONT

CHAMPIONNE OLYMPIQUE DE SKI DE BOSSES, 3 FOIS VICTORIEUSE DE LA COUPE DU MONDE

MGEN, Mutuelle Générale de l'Éducation Nationale, immatriculée sous le numéro SIREN 775 685 399, MGEN Vie, immatriculée sous le numéro SIREN 441 922 002, MGEN Filia, immatriculée sous le numéro SIREN 440 363 588, mutuelles soumises aux dispositions du livre II du Code de la mutualité. MGEN Action sanitaire et sociale, immatriculée sous le numéro SIREN 441 921 913, MGEN Centres de santé, immatriculée sous le numéro SIREN 477 901 714, mutuelles soumises aux dispositions du livre III du Code de la mutualité. Siège social : 3 square Max-Hymans -75748 Paris CEDEX 15.

ÉDITO



C. CHATELAIN

Carole Chatelain
Directrice adjointe de la rédaction

Efficace complice

IA. Si nous avons choisi de mettre ces deux lettres en couverture, c'est que ces initiales sont devenues suffisamment familières pour que leur traduction ne nous soit plus apparue nécessaire. En quelques années, l'intelligence artificielle (IA) a fait une entrée fracassante dans nos vies quotidiennes : reconnaissance faciale, assistants vocaux, voitures autonomes... Pourtant, ces deux lettres véhiculent encore nombre de fantasmes, voire de craintes très hollywoodiennes : depuis Hal, la « superintelligence » de *2001, l'Odyssée de l'espace*, de Stanley Kubrick (1968) ou *Blade Runner*, de Ridley Scott (1982), la question reste posée : ces algorithmes, dont il est si difficile de percer la boîte noire, ne risquent-ils pas de devenir nos nouveaux maîtres ? Une IA « forte » — pour reprendre la terminologie requise — ne risque-t-elle pas de battre à plates coutures nos capacités humaines que certains comme les transhumanistes jugent trop limitées ? Pas si vite ! répond dans nos pages Luc Julia, vice-président innovation de Samsung et auteur de *L'intelligence artificielle n'existe pas*, qui lui préfère l'expression d'*« intelligence augmentée »* : *« C'est notre intelligence à nous, humains, qui est augmentée par la technologie [...] de manière ciblée. » (p. 32)*

Comme l'exposent nos journalistes Elena Sender, Hugo Jalinière et Arnaud Devillard, notre cerveau n'a en effet pas dit son dernier mot ! Car IA et IH (intelligence humaine) n'ont en réalité que peu de choses en commun. Rigueur, discipline, rapidité et mémoire infinie pour l'IA ; créativité, adaptabilité, curiosité et faillibilité pour l'IH *(p. 27)*. Et ce sont justement ces qualités, trop souvent vues comme des handicaps, qui font de nos vaillants 83 milliards de neurones d'insurpassables atouts ! Comme le rappelle Catherine Pelachaud, directrice de recherche au laboratoire Isir, jamais une IA désincarnée ne sera traversée de doutes ni n'aura conscience d'elle-même *(p. 32)*. Elle restera ce qu'elle est : une création humaine simulant les émotions humaines, au service des humains. L'avenir est donc à la collaboration, à condition de comprendre ces logiques et fonctionnements si différents ! Désormais, les chercheurs travaillent sur ces interactions et le dialogue s'est ouvert entre neuroscientifiques et spécialistes d'IA qui élaborent ensemble des interfaces cerveau-machine. Les applications en sont déjà multiples, en particulier dans le domaine de la santé où elles ont permis de progresser dans le traitement de certaines pathologies lourdes, comme la maladie de Parkinson *(p. 28)*. Il appartient désormais aux humains de ne pas se laisser manipuler ni influencer par une IA dont ils sont en train de faire leur efficace complice. ■ @carolechatelain

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

Pour joindre la rédaction : 41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris - Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr - Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrices de la rédaction
Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01 - Carole CHATELAIN (adjointe) - 01.55.35.56.57

Rédacteur(trice)s en chef
Philippe PAJOT (La Recherche) - 01.70.98.19.29
Vincent REA (hors-série) - 01.55.35.56.35 avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Olivier LASCAR (digital) - 01.55.35.56.15

Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10

Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s
Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Mathieu NOWAK (actualités - rendez-vous) - 01.55.35.56.38

Directeur(trice)s artistiques
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59 - Jean-Louis GILABERT (directeur artistique) - 01.55.35.56.28
Maryvonne MARCONVILLE (directrice artistique) - 01.70.98.19.28
Thalia STANLEY (directrice artistique adjointe) - 01.55.35.56.21

Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18

Cheffe de service
Rachel MULOT (enquêtes) - 01.55.35.56.07

Chef de service adjoint
Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45

Chef(fe)s de rubrique
Mathias GERMAIN (biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33 - Sylvain GUILBAUD (fondamental) - 01.70.98.19.38 - Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54 - Bérénice ROBERT (environnement) - 01.70.98.19.34

Rédaction
Bernadette ARNAUD grande reporteure (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78 -
Arnaud DEVILLARD (numérique, data) - 01.55.35.56.27 -
Hugo JALINIÈRE (médecine, biologie) - 01.55.35.56.52 -
Sylvie ROUAT (espace, océanologie) - 01.55.35.56.40 -
Elena SENDER grande reporteure (biologie, neurosciences) - 01.55.35.56.43

Collaborateurs(trices)
Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN

Chroniqueurs
Aurélien ALVAREZ, Christophe CASSOU, Jean-Gabriel GANASCIA, Céline GUIVARCH

Ont participé à ce numéro
Pierre BERLOQUIN, Pierre KALDY, Florentin ROY, Anouk THOMAS

Secrétaire de rédaction
Frank MIETTON (1er secrétaire) - 01.55.35.56.17 - Anaëlle BRUYAND (1re secrétaire) - 01.70.98.19.35

Maquette
Horia BAHRI - 01.55.35.56.19

Photo-iconographie
Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Claire BALLADUR - 01.70.98.19.41

Pôle digital
Marine BENOIT (fondamental, archéologie) - 01.55.35.56.23 -
Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70 -
Camille GAUBERT (santé) - 01.55.35.56.24 - Joël IGNASSE (espace, paléontologie) - 01.55.35.56.15 -
Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56-
Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41 -
Clémence BAUDOIN - responsable projets digitaux - Jessica RIOS - cheffe de projet digital

Documentation Isabelle DO O'GOMES (cheffe de service) - 01.55.35.56.49
Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48

Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr

Informatique
Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06

Comptabilité - Ressources humaines
Mélanie BENKHEDIMI - 01.55.35.56.14

Fabrication Christophe PERRUSSON

Publicité MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris
Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com

Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 - assistée de Marie-Noëlle MAGGIE - 01.44.88.93.70

Abonnements et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc
60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (12 numéros dont un double) : 35 €. 1 an complet (12 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 €. Étranger : nous consulter.

Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233. 304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Directeur de publicité
Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75

Directrice de clientèle et responsable Web
Karine GROSSMAN - 01.44.88.89.08

Assistante commerciale
Séverine LECLERC - 01.44.88.97.57

Exécution : Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05

Administration des ventes
Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20

Directeur commercial Valéry SOURIEAU

Partenariat Joëlle HEZARD - 01.58.65.09.99

Directeur des abonnements Luc BONARDI

Responsable des abonnements
Lina QUACH - 01.55.35.56.63

Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication : **Claude PERDRIEL**

Secrétaire général Jean-Claude Rossignol

Multimédia Sciences et Avenir, 41 bis, avenue Bosquet, 75007 Paris. Tél. : 01.55.35.56.00.

PEFC 10-31-3364 PEFC recyclé Ce produit est issu de sources recyclées et contrôlées. pefc-france.org

Origine du papier : Italie

Taux de fibres recyclées : 0 %

Eutrophisation : PTot = 0,017 kg/tonne de papier

Ce magazine est imprimé chez Newsprint (Lieusaint), certifié PEFC

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comporte un message « Les Restos du cœur » sur la totalité de la diffusion abonnés ainsi qu'un message « Historia » et « Sophia Boutique - montre Fidji » sur une partie de la diffusion abonnés. Commission paritaire n° 0620 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par Presstalis.

Avec le Don de Giga, plus on est nombreux plus on est solidaires.

Le don de giga

Bouygues Telecom lance le Don de Giga pour lutter avec ses clients contre l'exclusion numérique. Soyez nombreux à nous soutenir, c'est grâce à vous tous que nous distribuerons des forfaits et des téléphones à ceux qui en ont besoin*. Soutenez l'opération sur **bouyguestelecom.fr/dondegiga**

En partenariat avec la Croix-Rouge française.

croix-rouge française
PARTOUT OÙ VOUS AVEZ BESOIN DE NOUS

×

bouygues TELECOM

on est fait pour être ensemble

*Dans la limite de 20 000 forfaits et 10 000 smartphones.

BETC Bouygues Telecom – Société Anonyme au capital de 712 388 399,50€ – Siège social : 37-39, rue Boissière – 75116 PARIS – 397 480 930 RCS PARIS.

SOMMAIRE

Sciences et Avenir - La Recherche
N° 886 - Décembre 2020

DOSSIER P. 24

Comment IA et cerveau collaborent

Très différents l'un de l'autre, l'intelligence artificielle et le cerveau ont des atouts complémentaires que les chercheurs s'emploient à développer. Dans le domaine médical comme dans la vie quotidienne, leurs coopérations réussies se multiplient.

3 **Édito** par Carole Chatelain
7 **Courrier**

SCIENCES FONDAMENTALES

8 **ACTUALITÉS** / Une nouvelle source d'eau sur la Lune / Osiris-Rex réussit sa rencontre avec un astéroïde / De la réalité augmentée pour les chiens militaires
36 **Astéroïdes : les nouvelles frontières de la connaissance**
40 **Voyage au bout des galaxies**
44 **Enfin des supraconducteurs à température ambiante ?**
46 **Drones et robots livreurs réorganisent la ville**
49 **Un outil ultrasensible pour détecter les séismes**

NATURE

12 **ACTUALITÉS** / Une tour de corail de 500 m de haut / Le coléoptère qu'on ne peut pas écraser / Le sexe des canards dans l'œuf
50 **Les humains précipitent l'évolution**
54 **Betterave : la guerre des néonicotinoïdes est relancée**
58 **Comment se forment réellement les atolls**
59 **Le Sahara abrite des centaines de millions d'arbres isolés**
61 **Dossier spécial : 5 questions pour gaspiller moins d'énergie chez soi**

SANTÉ

16 **ACTUALITÉS** / Un traitement prometteur contre les acouphènes / On mémorise mieux l'emplacement des aliments caloriques / Un organe inconnu au centre de la tête
64 **Toxoplasmose, le rôle des pères en question**
68 **Un patch redonne la parole aux malades de la SLA**
70 **Covid-19 : 7 scénarios pour contrer les prochaines vagues**
74 **Mucoviscidose, à la recherche du souffle perdu**
78 **Tout est prêt pour lancer l'essai sur le cannabis médical**
82 **Nutrition : le vinaigre a du piquant**

HISTOIRE

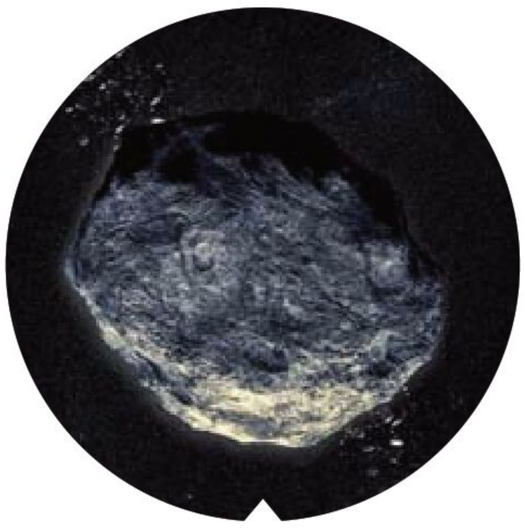
20 **ACTUALITÉS** / Des lamas inhumés vivants pour un rituel inca / Un sanctuaire païen viking en Norvège / Il y a 3000 ans, des cavaliers jouaient déjà à la balle
84 **Retour à Hatra, la cité du dieu-Soleil**
88 **Un sarcophage révèle le plus vieux texte du Livre des morts**
89 **Il y a 75 millions d'années, l'émergence de la famille**

HIGH-TECH

90 **Dossier spécial cadeaux**

RENDEZ-VOUS

94 **La Recherche** Autour d'un livre
96 **Sélection livres**
98 **Expositions**
99 **Le ciel de décembre**
100 **Questions de lecteurs**
101 **La Recherche** Solution des jeux
102 **La Recherche** Dialogue sur la préservation de la faune et de la flore
106 **La Recherche** Jeux



Des échantillons d'astéroïde sont en route pour la Terre à bord d'une sonde japonaise **p. 36**

Le bec du milan des marais a grossi pour pouvoir manger les proies introduites par les humains **p. 50**

La toxoplasmose pourrait être transmise au fœtus par le biais du génome du père infecté **p. 64**

La Recherche RETROUVEZ NOS CHRONIQUES

49 Maths : Aurélien Alvarez
59 Climat : Christophe Cassou et Céline Guivarch
105 Éthique : Jean-Gabriel Ganascia

VOUS ÊTRE **UTILE**

Quand l'avenir est flou, on a d'autant plus besoin de faire le point sur son **épargne**.

Assurance Vie

> Ajustable à tout moment à votre situation

> Disponible en cas de besoin[1].

Et si c'était le moment d'en parler avec votre conseiller Caisse d'Epargne ?

Communication à caractère publicitaire.

(1) Sous réserve, le cas échéant, de l'accord du bénéficiaire acceptant ou du créancier garanti et selon les dispositions fiscales en vigueur.

BPCE - Société anonyme à directoire et conseil de surveillance au capital de 170 384 630 euros - Siège social : 50, avenue Pierre Mendès France - 75201 Paris Cedex 13 - RCS Paris N° 493 455 042, intermédiaire d'assurance immatriculé à l'Orias sous le N° 08 045 100.
Contrats d'assurance vie distribués par votre Caisse d'Epargne - ALTMANN + PACREAU - Crédit photo : GettyImages.

CAISSE D'EPARGNE

COURRIER

« Une étape clé pour l'énergie de fusion »
(*Sciences et Avenir - La Recherche* n° 884, octobre 2020)

Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**

Dans l'article sur le réacteur expérimental Iter, vous indiquez que les combustibles sont quasi inépuisables. Mais avez-vous une idée de la consommation annuelle en deutérium et en tritium pour ce type de réacteur à fusion thermonucléaire ? L'alimentation en combustibles et l'extraction des produits de la fusion (l'hélium notamment) pourront-ils se faire en continu ou faudra-t-il arrêter à chaque fois la machine ?

Dominique Roizot

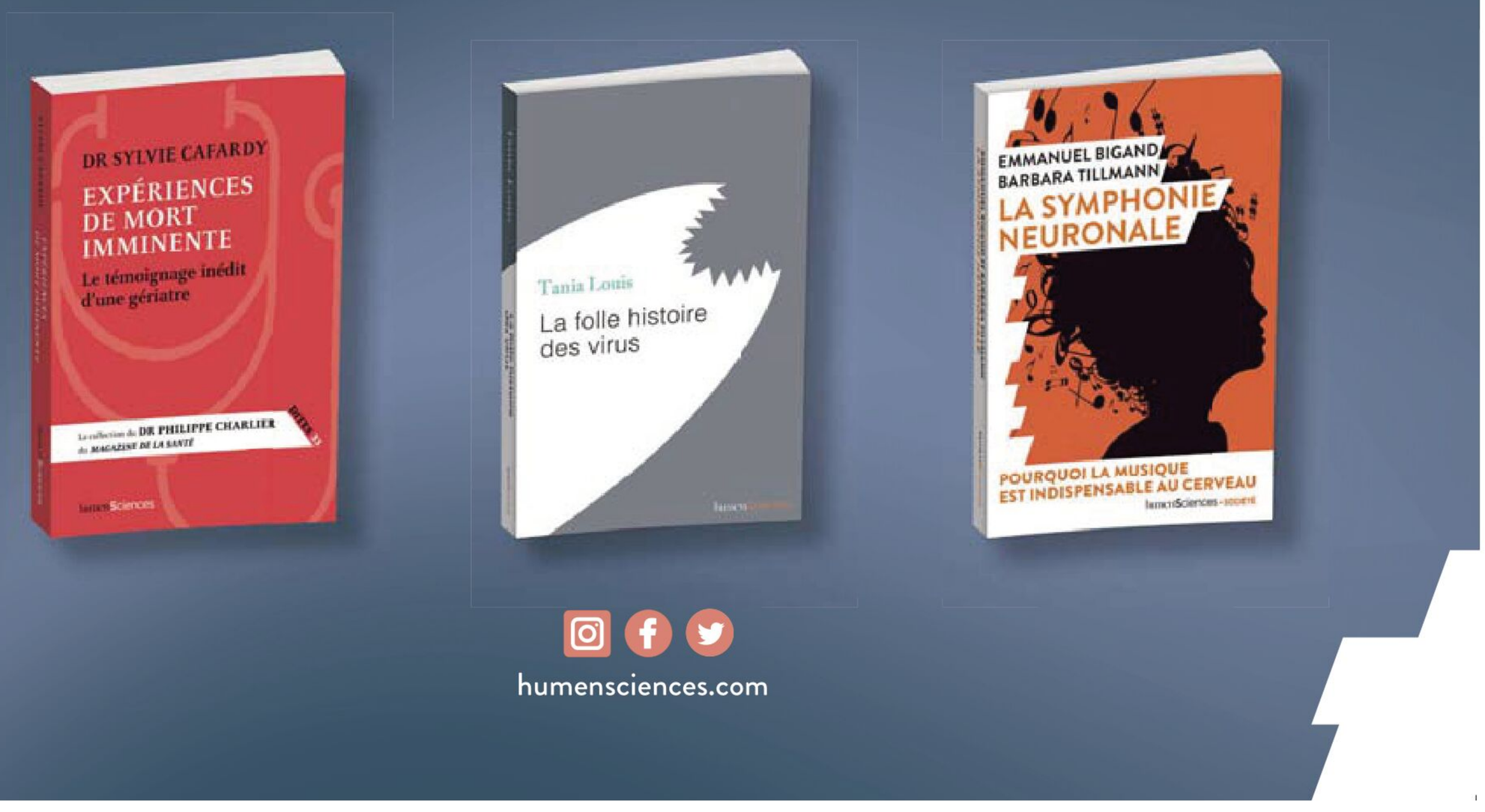
S. et A. : La consommation annuelle de deutérium et de tritium d'un tel réacteur à fusion sera de l'ordre de quelques centaines de kilogrammes, contre 25 tonnes d'uranium pour une centrale à fission équivalente. Le deutérium sera extrait de l'eau de mer et le tritium produit sur place à partir du lithium (quelques centaines de kilogrammes également).
Les ressources naturelles pourraient fournir ces combustibles pendant des dizaines de milliers d'années. L'alimentation en deutérium et en tritium ainsi que l'extraction de l'hélium se feront en continu sachant qu'il n'y aura, en permanence, qu'environ 1 gramme de combustible dans les mille mètres cubes de plasma.

Manipulation génétique ?

Dans l'interview de la professeur Julie Steffann (*Sciences et Avenir-La Recherche* n° 884, p. 26), il est écrit : *« On commence déjà à utiliser en recherche des outils biochimiques permettant de modifier l'ADN lettre à lettre »*. J'aimerais avoir des précisions afin d'éclairer un débat actuel concernant le Sras-CoV2. Peut-on formellement démentir l'origine par manipulation génétique du virus sur la base de l'état actuel des techniques ?

Hugo Pérez Bercoff

S. et A. : En principe, des manipulations génétiques en laboratoire laissent des traces sur le génome modifié. Or personne n'en a trouvé sur le Sras-CoV-2. Un faisceau d'indices montre par ailleurs qu'il est presque impossible qu'il ait été conçu en laboratoire. En revanche, son origine exacte restant inconnue, une fuite accidentelle d'un laboratoire reste une possibilité. Mais c'est l'hypothèse la moins probable aujourd'hui.

humenSciences
FAIT ENTRER LA SCIENCE DANS VOTRE VIE


humensciences.com

Une nouvelle source d'eau sur la Lune

Sous forme de glace, cette eau serait disséminée dans les régions proches des pôles.

Maintenue dans des « micropièges froids », l'eau a été retrouvée dans des régions qui reçoivent la lumière du jour.

NASA

SÉLÉNOLOGIE 600 millions de tonnes de glace d'eau se cacheraient sur notre petit satellite : voilà la nouvelle estimation avancée par la Nasa. Longtemps, les scientifiques avaient supposé que l'eau avait de meilleures chances de rester stable dans les régions les plus sombres de l'astre, comme les grands cratères situés près des pôles, plongés perpétuellement dans l'ombre. Pourtant, elle se trouverait également dans des régions qui reçoivent quotidiennement la lumière du jour, selon des observations effectuées par l'Observatoire stratosphérique pour l'astronomie infrarouge (Sofia). Sous forme de glace, cette eau serait maintenue dans des « micropièges froids », sortes de poches de un centimètre de diamètre principalement disséminées dans les régions plus proches des pôles. Elles pourraient abriter 10 à 20 % de l'eau stockée sur la Lune, sur une superficie totale d'environ 40 000 km². Reste que pour l'exploiter, il faudra imaginer un moyen de l'extraire alors qu'elle ne compte que pour environ 300 g/m² de sol lunaire ! **M. B.**

10^6 teslas L'objectif pour un champ magnétique généré en laboratoire

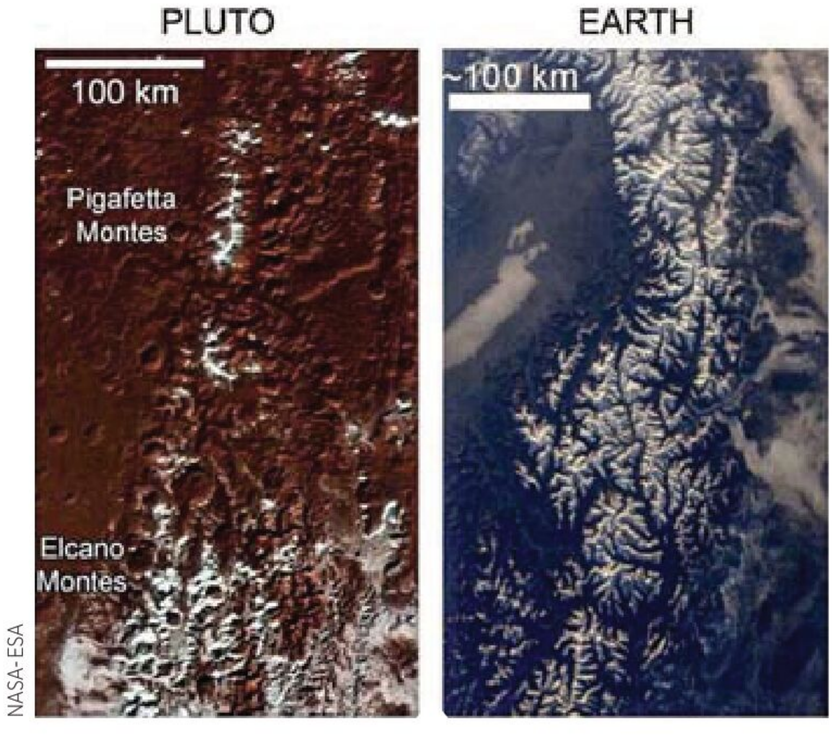
PHYSIQUE Une équipe japonaise a proposé une nouvelle technique pour franchir la barre du mégatesla. D'après une simulation, elle pourrait être dépassée en provoquant une implosion dans un microtube de plastique, pas plus épais qu'un dixième de cheveu. M.B.

SOURCE : M. MURAKAMI, UNIVERSITÉ D'OSAKA, JAPON.

Du givre de méthane sur les montagnes glacées de Pluton

PLANÉTOLOGIE Sur Pluton, les montagnes de Cthulhu qui s'élèvent jusqu'à 5000 mètres sont recouvertes d'une neige brillante comme les hauts sommets alpins. Sauf que cette couche blanchâtre observée par la sonde New Horizons est en réalité due à de la glace de méthane, un gaz présent à l'état de traces dans l'atmosphère haute de la planète naine. Et qui se condense au contact de la surface très froide des montagnes formées de glace d'eau. **J. I.**

SOURCE : TANGUY BERTRAND, LABORATOIRE DE MÉTÉOROLOGIE DYNAMIQUE, SORBONNE UNIVERSITÉS, PARIS



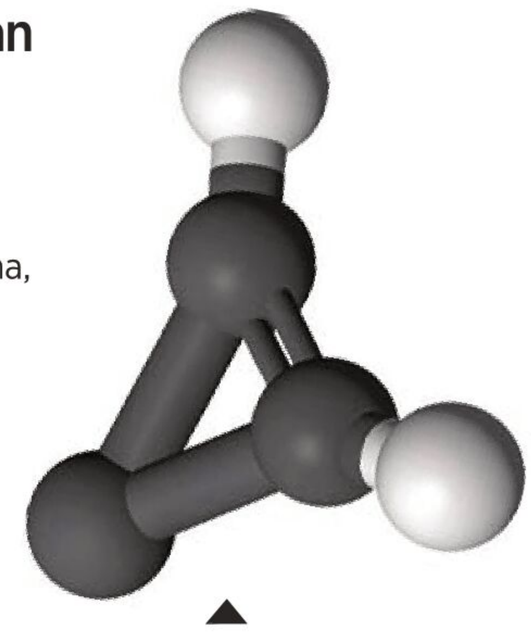
NASA-ESA

Deux paysages quasi identiques dus à deux phénomènes différents (à gauche, la région de Cthulhu, sur Pluton, et à droite, les Alpes, sur Terre).

Une étrange molécule dans l'atmosphère de Titan

EXOCHIMIE Nouvelle découverte des plus étonnantes pour le radiotélescope géant Alma, situé dans le désert d'Atacama, au Chili : l'atmosphère de Titan recèle du cyclopropénylidène, ou C_3H_2. Abondante dans le milieu interstellaire, cette molécule n'existe sur Terre qu'en laboratoire et n'avait jamais été détectée dans aucune atmosphère. **M.B.**

SOURCE : C. NIXON, NASA GODDARD SPACE FLIGHT CENTER, GREENBEL, ÉTATS-UNIS.



BEN MILLS AND JYNTO

Le C_3H_2 abonde dans le milieu interstellaire.

24 exoplanètes pourraient être davantage habitables que la Terre

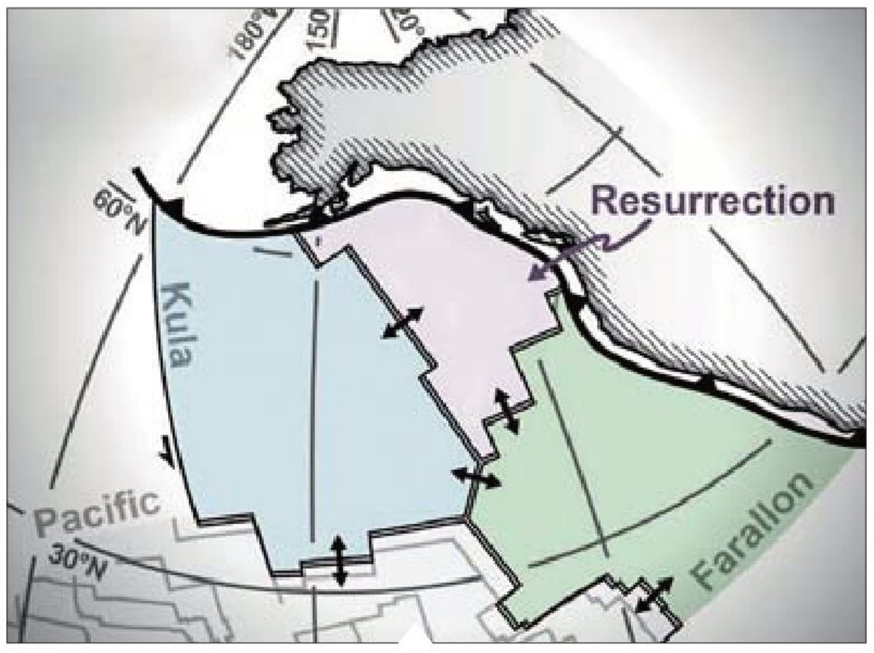
EXOBIOLOGIE Des astrobiologistes ont identifié pas moins de 24 possibles exoplanètes à seulement 100 années-lumière de la Terre qui pourraient être « superhabitables », c'est-à-dire qui auraient « plus de biomasse et de biodiversité que notre Terre actuelle ». Ces astres — dont l'existence reste hypothétique — seraient légèrement plus vieux, plus gros, plus chauds et plus humides. **M. B.**

SOURCE : D. SCHULZE-MAKUCH, UNIVERSITÉ DE BERLIN, ALLEMAGNE.

Résurrection d'une plaque tectonique

GÉOLOGIE Son existence était discutée : la plaque tectonique Resurrection vient d'être retrouvée. Deux géologues ont examiné des images de tomographie du manteau terrestre montrant les vestiges d'une plaque enfouie en partie sous l'Amérique du Nord. Grâce à des modélisations, ils ont remonté le temps sur 60 millions d'années et ont retrouvé le morceau manquant entre les plaques Farallon et Kulla. **S. R.**

SOURCE : SPENCER FUSTON, UNIVERSITÉ DE HOUSTON, ÉTATS-UNIS.



UNIVERSITY OF HOUSTON

Modélisation des emplacements des plaques au large de la côte ouest de l'Amérique du Nord, il y a 60 millions d'années.

36 km/s

La vitesse maximale du son

ACOUSTIQUE **Des physiciens ont établi que les ondes sonores ont bien une limite de vitesse supérieure, à l'instar de la lumière se propageant dans le vide (300 000 km/s soit environ 8 000 fois plus). Elle dépend de deux constantes fondamentales : celle de structure fine, qui décrit l'intensité de l'interaction entre particules chargées et champ électromagnétique, et le rapport de masse proton/électron. M. B.**

SOURCE : K. TRACHENKO, UNIVERSITÉ QUEEN MARY DE LONDRES, ROYAUME-UNI.

Aspirée par un trou noir, l'étoile est déchirée par les forces de marée de celui-ci (illustration).

ESO/M. KORNMESSER

Une étoile morte par spaghettisation

ASTROPHYSIQUE Pour s'être trop rapprochée d'un trou noir, cette étoile s'est littéralement fait déchirer par les forces de marée qu'il produit. Cet événement, appelé rupture ou « spaghettisation » par les astronomes, est très rarement observé. Cette fois, deux télescopes, le VLT et le NTT, au Chili, ont pu détecter précocement l'éclat provoqué par la matière de l'étoile chutant dans le trou noir et ainsi suivre pendant plus de six mois les variations de sa luminosité. **J. I.**

SOURCE : M. NICHOLL, UNIVERSITÉ DE BIRMINGHAM, ROYAUME-UNI.

IL A DIT

« De notre point de vue, la Lunar Gateway [le programme lunaire de la Nasa] *est trop américano-centrée. Il est probable que la Russie n'y participe pas à grande échelle »*

Dmitri Rogozine, directeur général de l'agence spatiale russe Roskosmos au sujet du projet américain annoncé sous la présidence de Donald Trump de faire revenir des astronautes sur la Lune dès 2024, et qui pourrait être de plus remis en question par le président élu Joe Biden.

Osiris-Rex réussit sa rencontre avec un astéroïde

La sonde de la Nasa a recueilli des échantillons sur Bénou à 330 millions de kilomètres de la Terre.

ESPACE *« Nous avons terminé l'opération avec succès ! »* Rich Burns, chef de projet de la mission américaine Osiris-Rex (Origins Spectral Interpretation Resource Identification Security Regolith Explorer), a de quoi se réjouir. La sonde de la Nasa a réussi, le 20 octobre, son atterrissage à la surface de l'astéroïde Bénou, à 330 millions de kilomètres de la Terre. Et elle est parvenue à recueillir des échantillons de cet astre riche en eau et en molécules organiques, comme des mesures spectrales réalisées en orbite l'ont récemment démontré. Le clapet du compartiment de collecte ne s'est hélas ! ensuite pas correctement refermé, laissant échapper dans l'espace quelques dizaines de grammes de poussières astéroïdales. Les ingénieurs ont finalement réussi à refermer le couvercle. Combien d'échantillons reste-t-il ? Au moins 400 grammes, et peut-être même plus de un kilogramme. Ce qui représente les plus gros échantillons extraterrestres collectés depuis les missions lunaires Apollo. La sonde, qui quittera Bénou au printemps prochain, devrait les rapporter sur Terre en 2023. *(Lire aussi p. 36.)* **F. D.**

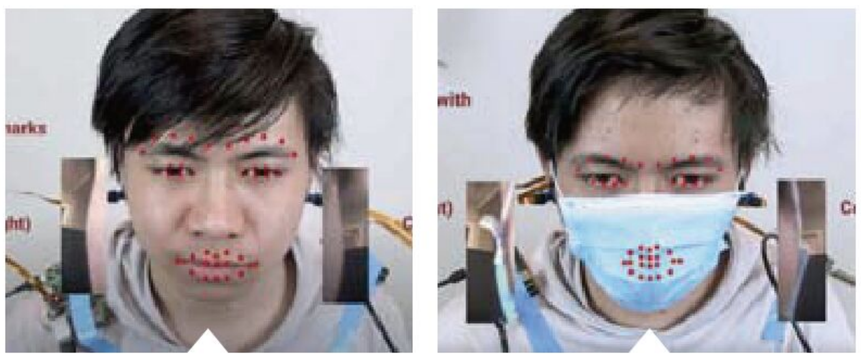
Opération d'échantillonnage du sol de Bénou par la sonde le 20 octobre.

NASA/GODDARD/UNIVERSITY OF ARIZONA

Les expressions du visage détectées en filmant les joues

INTERFACE Traduire les mouvements des lèvres en commandes : le prototype C-Face peut même le faire chez des personnes qui portent un masque ! Il consiste en deux caméras miniatures montées sur un casque audio qui filment la manière dont les muscles des joues tendent et détendent la peau. Ces données servent à créer un modèle 3D du visage à partir duquel les commandes sont générées. **A. D.**

SOURCE : TUOCHAO CHEN, UNIVERSITÉ CORNELL, ÉTATS-UNIS.



CORNELL SCIFI LAB

Un modèle 3D du visage est créé à partir d'images filmées par deux caméras.

Les commandes générées depuis le modèle opèrent même avec un masque.

Facebook traduit sans passer par l'anglais

IA Du français à l'anglais puis de l'anglais au chinois, voilà comment procédaient jusque-là les algorithmes de Facebook pour traduire des textes. Ce qui multipliait les risques d'erreur. Mais le laboratoire de recherche en intelligence artificielle du réseau social a conçu une méthode nouvelle permettant de traduire directement 1100 combinaisons d'une centaine de langues. Une base de 7,5 milliards de paires de phrases a été utilisée pour entraîner l'algorithme. **A. D.**

VIRGIN GALACTIC

Le vaisseau SpaceShipTwo, de Virgin Galactic, à bord duquel Alan Stern doit voler.

Le planétologue Alan Stern va devenir astronaute à 62 ans

Il mènera pour le compte de la Nasa des expériences au cours d'un vol commercial.

ESPACE L'objectif d'une vie est en passe d'être atteint pour Alan Stern, planétologue au Southwest Research Institute (SwRI), au Texas (États-Unis). La Nasa vient en effet de le sélectionner pour mener à bien des expériences lors d'un vol suborbital à bord du vaisseau commercial SpaceShipTwo de Virgin Galactic (le premier engin privé à avoir réussi un tel vol). Il testera notamment une nouvelle caméra astronomique capable de détecter de très faibles signaux lumineux. Le père de la mission New Horizons ayant survolé Pluton milite désormais pour promouvoir la présence de scientifiques à bord de vols commerciaux.

Cette consécration est aussi une revanche pour Alan Stern, qui rêve d'espace depuis l'enfance et les missions Apollo. « *Année après année, il n'a cessé de postuler pour devenir astronaute*, explique sa fille, Sarah Stern sur Twitter. *Il a été à chaque fois rejeté, mais a continué à tenter sa chance — postulant cette année même, à 62 ans. Et aujourd'hui, nous avons appris que son rêve allait enfin se réaliser.* » **S. R.**

JÉRÉMY BARRAULT / IFREMER

Ulyx, le sous-marin à tout faire de l'Ifremer

OCÉANOGRAPHIE La flotte océanographique française s'enrichit d'un nouveau véhicule sous-marin autonome, Ulyx, qui effectuera d'ici à la fin de l'année ses premières plongées à 6 km de profondeur. Ses équipements de cartographie acoustique lui permettront de quadriller de vastes surfaces, tandis que son appareil photo haute résolution révélera les reliefs avec une précision proche de l'œil humain. **S. R.**

De la réalité augmentée pour les chiens militaires

QUOI Des lunettes de réalité augmentée pour donner des instructions à distance à des chiens engagés dans des opérations militaires sans exposer les soldats.

COMMENT Un indicateur visuel dirige l'animal vers un endroit spécifique tandis qu'une caméra permet au maître-chien de le suivre.

QUI Elles sont développées par l'entreprise Command Sight pour le compte de l'armée américaine.

QUAND Le prototype doit évoluer pour se débarrasser de ses fils : il pourrait équiper les forces spéciales d'ici à deux ans. **A.-S. T.**

COURTESY COMMAND SIGHT

Un indicateur visuel guide l'animal muni de lunettes de réalité augmentée.

A Noël, fabriquez-vous des souvenirs en série.

Livebox Up
Fibre + 2 décodeurs TV
OCS + NETFLIX
39€99/mois
pendant 12 mois puis 69,98 €/mois

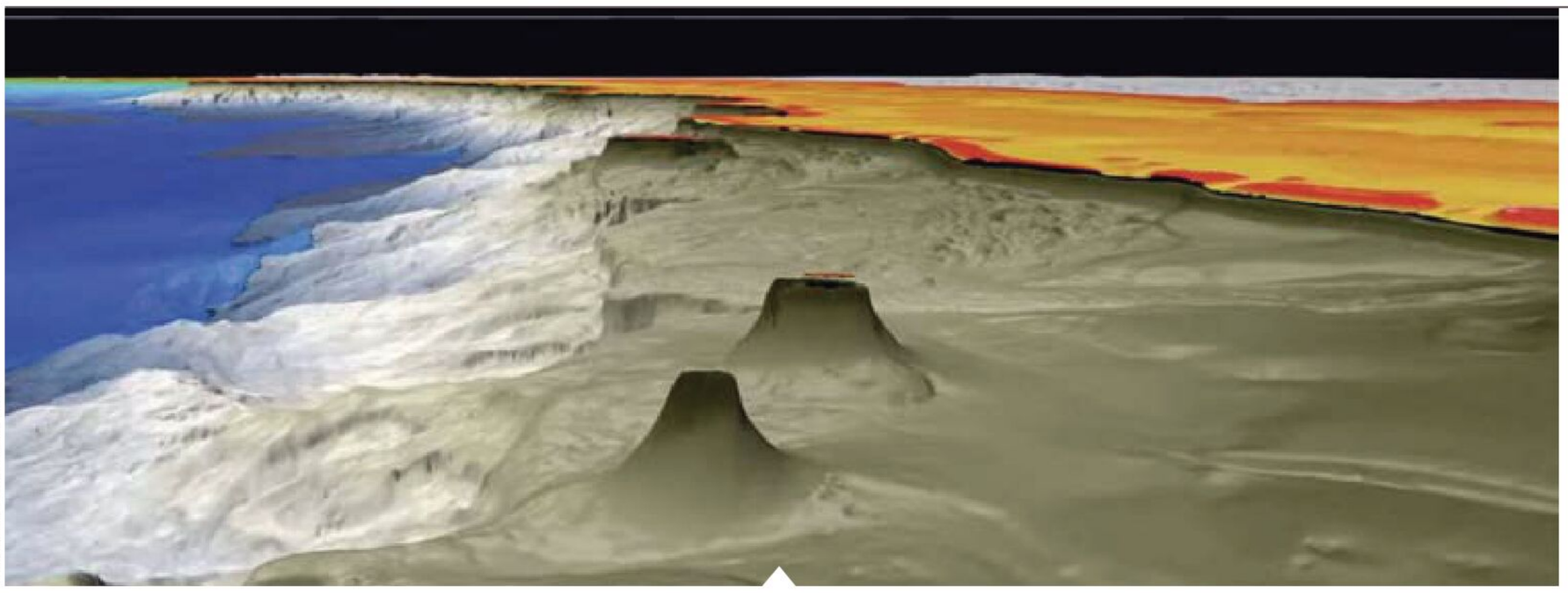
Livebox Up Série Limitée : Fibre + TV + Fixe + OCS + Netflix

Offre soumise à conditions valable du 19/11/2020 au 05/01/2021 en France métropolitaine, pour toute première souscription, engagement de 12 mois.

Souscrivez sur orange.fr ou pour des conseils personnalisés, prenez rendez-vous en boutique au 0 800 02 55 55 (appel et service gratuits), sur l'appli Orange et moi et sur notre site.

Le prix comprend le Pack OCS + Netflix Standard HD à 9€/mois pendant 12 mois, puis 19,99€/mois, avec 14€/mois de remise immédiate et 5€/mois remboursés pour les nouveaux clients Internet avec changement d'opérateur après le 19/09/2020. Détail et formulaire sur odr.orange.fr

orange™



SCHMIDT OCEAN INSTITUTE

Le récif en forme de lame mesure 1,5 km de large à la base, puis s'élève à 500 m, à 40 m seulement sous la surface de l'océan.

Une tour de corail de 500 m de haut

Elle a été repérée lors d'une cartographie sous-marine en 3D des fonds de la Grande Barrière de corail en Australie.

OCÉANOGRAPHIE Des chercheurs australiens ont découvert un nouveau récif, à la pointe nord de la Grande Barrière de Corail (Australie), dont le sommet culmine à 500 mètres — plus haut que la tour Eiffel (324 m). « *C'est le premier récif détaché de la barrière de corail à être découvert depuis plus de 120 ans* », se réjouit Robin Beaman, de l'université James-Cook (Townsville, Australie) Il a été repéré le 20 octobre lors d'une cartographie sous-marine en 3D réalisée par le navire de recherche *Falkor* du Schmidt Ocean Institute (Palo Alto, États-Unis). L'équipe a également utilisé le robot sous-marin *SuBastian*. Ce massif s'ajoute aux sept autres grands récifs détachés de la région, cartographiés depuis la fin des années 1800. Mais comment un tel colosse a-t-il pu échapper aux scientifiques ? « *Il a fallu attendre de nouvelles technologies qui fonctionnent comme nos yeux, nos oreilles et nos mains*, explique Wendy Schmidt, cofondatrice du Schmidt Ocean Institute. *De nouveaux paysages océaniques s'ouvrent à nous !* » **R. M.**

Les chiens communiquent sans se regarder

ÉTHOLOGIE Contrairement à ce que l'on observe chez les humains, voir la face d'un congénère n'est pas quelque chose d'important dans la communication entre chiens : une analyse par IRM fonctionnelle a révélé que leur cerveau ne fait pas de distinction s'il voit un congénère de dos ou de face. **A.-S. T.**

SOURCE : NÓRA BUNFORD, UNIVERSITÉ LORÁND EÖTVÖS, BUDAPEST, HONGRIE.

E.KUBINYI/EÖTVÖS LORÁND UNIVERSITY

Voir la face d'un congénère ne joue pas de rôle pour communiquer.

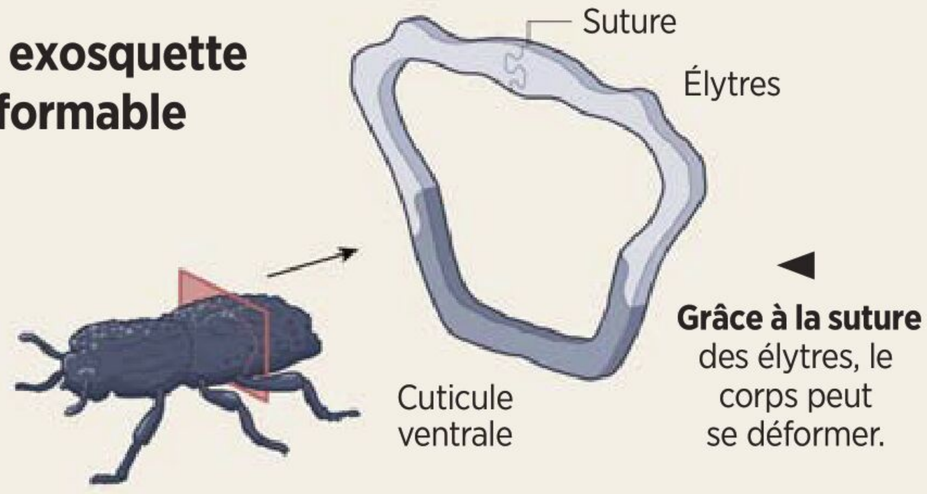
Des oursons d'eau à la carapace fluorescente

ZOOLOGIE Encore une preuve de la fabuleuse résistance des oursons d'eau (ou tardigrades) : soumis à de fortes doses d'UV, ils passent de l'ocre terne au bleu brillant. L'espèce étudiée, *Paramacrobiotus BLR*, possède en fait un bouclier de pigments fluorescents qui transforme les UV en lumière bleue, supprimant leur pouvoir délétère. **S. R.**

SOURCE : HARIKUMAR SUMA, INSTITUT INDIEN DES SCIENCES, BANGALORE, INDE.

SUMA ET AL., BIOLOGY LETTERS, 2020

Le bouclier de pigments du tardigrade transforme les UV en lumière bleue.



Le coléoptère qu'on ne peut pas écraser

ENTOMOLOGIE Le coléoptère diabolique cuirassé peut se faire écraser par une voiture et survivre. Des ingénieurs américains ont découvert son secret : il s'agit de sa suture, c'est-à-dire la ligne où se soudent les deux élytres de l'insecte. Les lames qui les constituent se délaminent : elles se séparent les unes des autres et s'écartent de la suture, permettant ainsi une déformation du corps de l'insecte et la protection des organes vitaux. **A.-S. T.**

SOURCE : JESUS RIVERA, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE, ÉTATS-UNIS.

Le moustique détourne ses gènes pour survivre

ENTOMOLOGIE

Pour permettre la segmentation de leur exosquelette, tous les insectes possèdent un gène essentiel, sauf... le moustique. Les entomologistes américains qui ont fait cette découverte ont également compris comment il survit malgré tout : l'organisme de l'animal a détourné un autre gène afin de lui faire accomplir la tâche du gène manquant. H. R.

SOURCE : ALYS JARVELA, UNIVERSITÉ DU MARYLAND, ÉTATS-UNIS.

RIVERA ET AL - PO-YU CHEN

Rencontre avec un maître brasseur belge

© JitskeSchols-01.

Hans Van Remoortere, Maître brasseur de la brasserie Bosteels, Belgique.

Depuis 2016, la bière belge est inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO. Par cet acte, elle est passée du statut de boisson à celui d'institution culturelle.

Avec plus de 1 600 variétés reconnues au niveau mondial et pas moins de 300 brasseries, ce qui a été longtemps perçu comme une simple attraction touristique est désormais un véritable étendard du savoir-faire belge. À tel point que les Maîtres Brasseurs belges sont aujourd'hui des garants de leur culture à l'international et sillonnent le monde pour former, éduquer et partager leur expérience. Dans cette optique, nous avons rencontré Hans Van Remoortere, le maître brasseur de la bière belge Tripel Karmeliet, pour en savoir plus sur la bière et répondre aux questions que l'on se pose tous.

On va commencer par le plus pratique. Comment déguste-t-on une bière ?

On commence par regarder : sa mousse, sa couleur, sa pétillance. Ensuite, on la sent pour déterminer les premières notes – n'hésitez pas à la remuer pour l'aérer. Enfin, on goûte pour confirmer ce que l'on a perçu auparavant : la texture, les flaveurs (...).

Quelle est l'importance d'un verre lorsque l'on déguste une bière ?

On ne servirait pas de champagne dans un verre à eau. Pour la bière, c'est la même chose. Le choix du verre est primordial. La forme d'un verre Tulipe (comme celui de la Tripel Karmeliet) permet de retenir la mousse et ses arômes. Son pied, quant à lui, vous permet de tenir le verre en main sans réchauffer la bière.

Comment sait-on quand une bière est prête ?

Une bière passe par 4 à 5 stades. Je goûte le produit à chacune de ces étapes tous les jours à 11 h – les papilles sont plus alertes. Si à une phase on observe une déviance de qualité, nous pouvons encore ajuster le liquide afin de garantir un produit qualitatif à tous les consommateurs.

Pouvez-vous nous en dire plus sur l'histoire de votre bière, la Tripel Karmeliet ?

C'est une histoire de famille. La brasserie a été créée en 1791 par Jean-Baptiste Bosteels, avant même la création du royaume de Belgique (1830). Depuis, 7 générations de brasseurs se sont succédé jusqu'à ce qu'Antoine Bosteels, à la fin du 20e siècle, découvre une recette oubliée de 1679 qui deviendra l'inspiration de la Tripel Karmeliet actuelle.

C'est l'une des rares bières brassées à base de 3 grains. Vous nous en dites plus ?

Notre engagement est de créer une bière parfaitement équilibrée. On dit qu'une bière est équilibrée lorsque "l'onctuosité", "l'acidité" et "le caractère" sont parfaitement balancés. La Tripel Karmeliet trouve cet équilibre, notamment grâce à l'association de 3 grains :

L'Orge qui apporte le corps à la bière.

Le Froment pour l'onctuosité et la fraîcheur.

L'Avoine pour le caractère.

Sans ces 3 grains, la Tripel Karmeliet n'existerait pas.

Si vous deviez qualifier la Tripel Karmeliet ?

La Tripel Karmeliet n'est pas une bière brassée en 3 semaines, nous prenons le temps de faire les choses. Le brassin passe plusieurs semaines en cuve, laissant aux saveurs le temps de se développer naturellement et la production finit par une refermentation en bouteille. On a donc un cycle de brassage de 6 à 7 semaines, ce qui est nettement plus long que la majorité des bières présentes sur le marché, reflétant notre savoir-faire traditionnel et notre authenticité.

Nous remercions Hans d'avoir pris le temps de répondre à nos questions. Un échange chaleureux avec un passionné pour nous permettre d'en apprendre plus sur l'univers de la bière.

Hans goûte la production Tripel Karmeliet tous les jours à 11 h car *« c'est à ce moment-là que les papilles sont le plus alertes »*.

© Olivier Anbergen - septembre 2019.

Tripel Karmeliet

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ. À CONSOMMER AVEC MODÉRATION.

LE SIGLE DU MOIS

ToLCNDV : le nouveau virus de la courgette

AGRONOMIE Le « Tomato leaf curl New Delhi virus » touche désormais la production française de courgettes, en Occitanie et Provence-Alpes-Côte-d'Azur, a alerté fin octobre l'Agence nationale de sécurité sanitaire. Décrit pour la première fois en Inde, il est transmis par un insecte, l'aleurode du tabac *(Bemisia tabaci)* et peut aussi provoquer des dégâts importants sur d'autres cultures. On ne connaît aucune mesure pour soigner les plants touchés. **A.-S. T.**

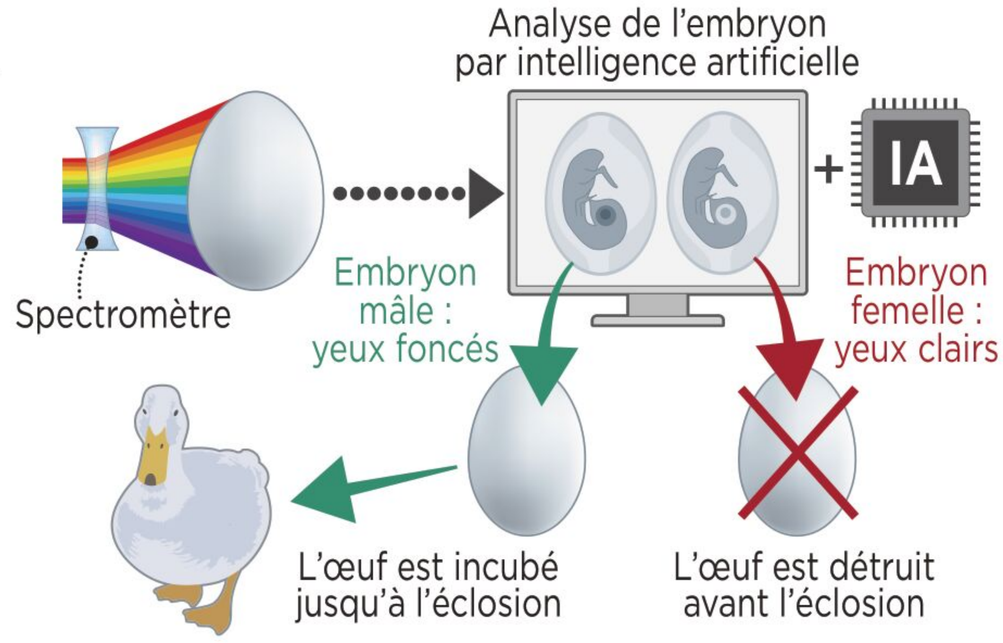
H.LECOQ, INRA

Transmis par un insecte, le virus a été identifié sur des feuilles de courgette dans deux régions françaises.

1 milliard de tonnes de CO_2

Les émissions totales du transport maritime

CLIMAT **Fin octobre, les 174 États membres de l'Organisation maritime internationale, l'organisation spécialisée de l'Onu, ont échoué à s'accorder sur des normes contraignantes permettant de réduire de moitié d'ici à 2030 les émissions du transport maritime — presque aussi importantes que celles du secteur aérien. La flotte marchande sera seulement invitée à améliorer ses performances énergétiques, les navires les plus polluants n'étant pas retirés du marché.** **L. C.**



BRUNO BOURGEOIS

Le dispositif de reconnaissance *in ovo* permet d'éviter de tuer les femelles à la naissance, car seuls les mâles sont retenus pour la viande ou le gavage.

Le sexe des canards dans l'œuf

AVICULTURE La spectrométrie associée à un dispositif d'intelligence artificielle permet de déterminer le sexe des canetons dans l'œuf dès le neuvième jour. La technique développée par la société française Grimaud frères utilise des algorithmes capables de trier les embryons femelles — qui sont caractérisés par des yeux clairs — des mâles aux yeux foncés. La société cherche ainsi à éviter que 30 millions de canetons femelles ne soient broyés à la naissance, l'industrie du foie gras n'élevant que des mâles pour leur foie plus volumineux. **L. C.**

ELLE A DIT

« Le simple fait de regarder la nature à la télévision peut aider à améliorer l'humeur des gens et à lutter contre l'ennui »

Nicky Yeo, doctorante en biomédecine à l'université d'Exeter (Royaume-Uni), auteure d'une étude sur les bienfaits des documentaires consacrés à la nature qui a conclu que ceux-ci sont encore plus grands quand les films sont regardés en réalité virtuelle

J-M COLLIN

QUESTIONS À

Jean-Marie Collin

Expert et co-porte-parole de la Campagne internationale pour abolir les armes nucléaires (Ican France)

« Les armes nucléaires sont désormais illégales »

Le Traité sur l'interdiction des armes nucléaires (TIAN) va entrer en vigueur le 22 janvier 2021, après sa ratification par un 50e État, le Honduras.

Que change ce traité ?
Désormais, selon le droit international, les armes nucléaires sont illégales à l'instar des armes chimiques et bactériologiques. Les États signataires s'engagent à ne jamais mettre au point, produire, fabriquer, acquérir, vendre ou posséder d'explosifs nucléaires. Ils annoncent également vouloir prendre en compte les dégâts provoqués sur les zones qui ont subi des explosions et assurer la prise en charge des populations affectées.

Et pour ceux qui possèdent l'arme nucléaire, comme la France, et dont aucun n'est signataire ?
Ils devront justifier les raisons qui les poussent à ne pas respecter le droit international. Les banques et fonds internationaux qui décideraient de financer ces armes tomberont désormais dans l'illégalité. Pour le cas de la France, l'Algérie va se tourner vers Paris pour réclamer un état des lieux des sites d'essais du Sahara.

Quelle est aujourd'hui la situation de l'armement nucléaire ?
Neuf pays possèdent l'arme nucléaire. Cinq sont membres du traité de non-prolifération ratifié en 1970 : les États-Unis, la Russie, le Royaume-Uni, la France et la Chine. Quatre n'en sont pas signataires : l'Inde, le Pakistan, la Corée du Nord et Israël. Il y a 13 400 armes nucléaires dans le monde. Les États-Unis et la Russie en possèdent 6000 chacun. La France en a 300.

Propos recueillis par L. C.

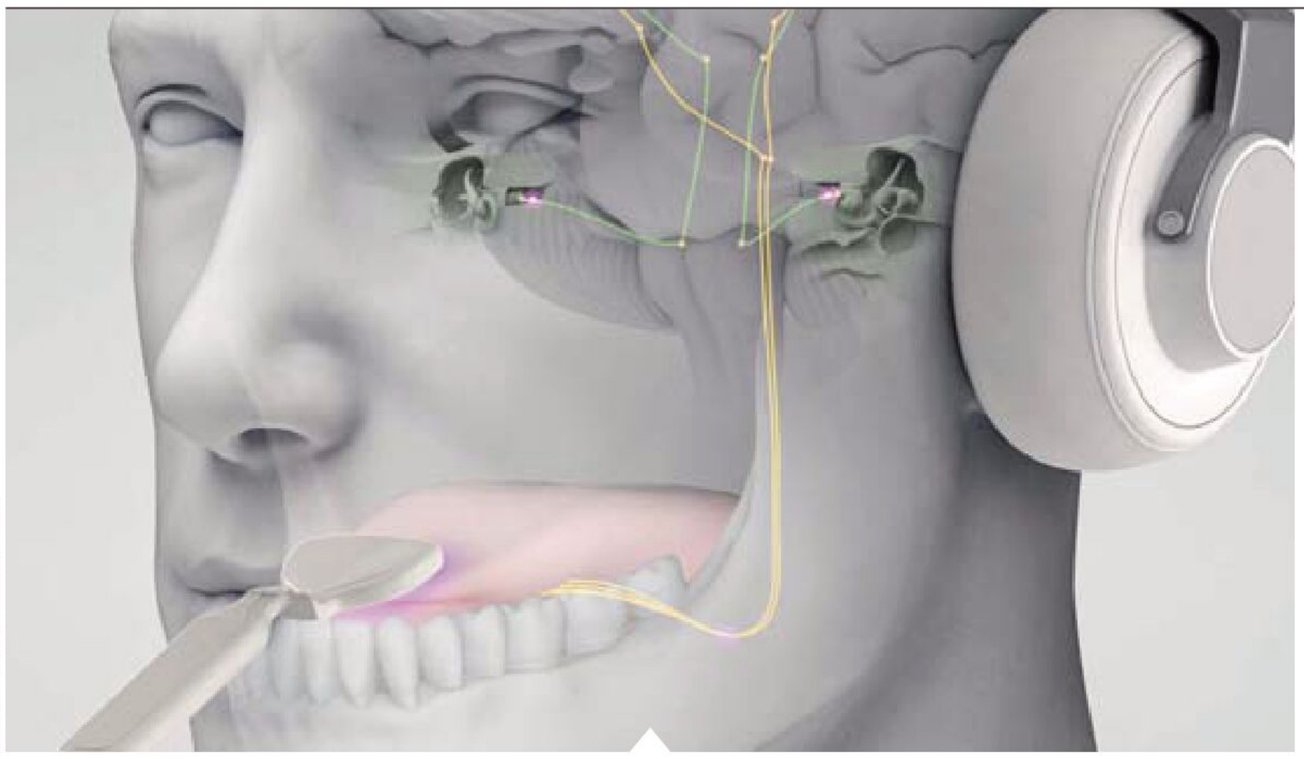
The POWER of PISTACHIOS®

CHANGEMENT DE LA DONNE : LES PISTACHES INTÈGRENT LA FAMILLE DES PROTÉINES COMPLÈTES

© 2020 American Pistachio Growers

Les pistaches grillées cultivées aux États-Unis sont une source de protéine qui contiennent les neuf acides aminés essentielles en quantité adéquate pour les personnes de plus de cinq ans, comme le montre le PDCAAS (Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score), et sont donc une protéine *complète* pour ce groupe d'âge.
AmericanPistachios.fr/complete

AMERICAN QUALITY PISTACHIOS®
California Grown
AmericanPistachios.fr



NEUROMOD DEVICES LIMITED

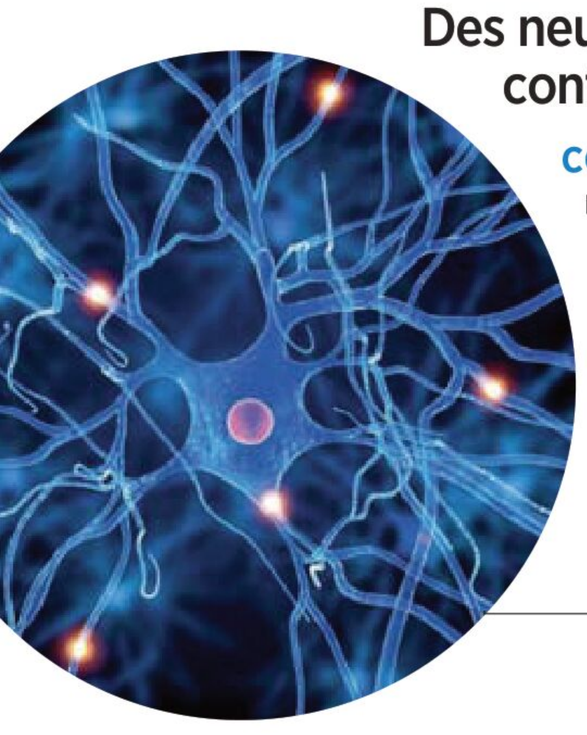
Le dispositif est constitué d'écouteurs qui émettent des sons et d'un réseau d'électrodes qui stimule la langue.

Un traitement prometteur contre les acouphènes

Un appareil parviendrait à modifier l'activité des neurones auditifs responsables de ces bruits parasites.

NEUROLOGIE La perception des acouphènes, ces bruits parasites générés par le cerveau qui perturbent environ 10 % de la population, peut être atténuée avec un nouvel appareil mis au point par des chercheurs emmenés par Brendan Conlon, médecin à l'hôpital Saint-James de Dublin (Irlande). Au terme d'un essai sur plus de 300 volontaires ayant des acouphènes persistants, les trois quarts d'entre eux ont constaté un soulagement durable de leur trouble auditif à la fin du traitement. Celui-ci, appelé neuromodulation bimodale, repose sur l'écoute de sons dans un casque et la stimulation simultanée de la langue par une électrode maintenue dans la bouche. Cette méthode vise à déplacer l'activité des neurones auditifs responsables des acouphènes vers d'autres neurones associés à une activité sensorielle (la stimulation de la langue et l'écoute de sons). L'opération dure une heure par jour pendant trois mois. L'appareil, développé par les auteurs et déjà commercialisé, ne provoque aucun effet indésirables. Reste à confirmer ces résultats par une étude indépendante. **P. K.**

Des neurones impliqués dans le niveau de confiance en une prise de décision



SCIENCE PHOTO LIBRARY

COGNITION Pour la première fois, des scientifiques ont mis en évidence une corrélation entre l'assurance dans une prise de décision et l'activité électrique de certains neurones, présents dans des régions du cerveau associées à la mémoire. Plus un choix (par exemple entre deux aliments) est fait avec certitude, plus l'activité neuronale est importante. **A. T.**

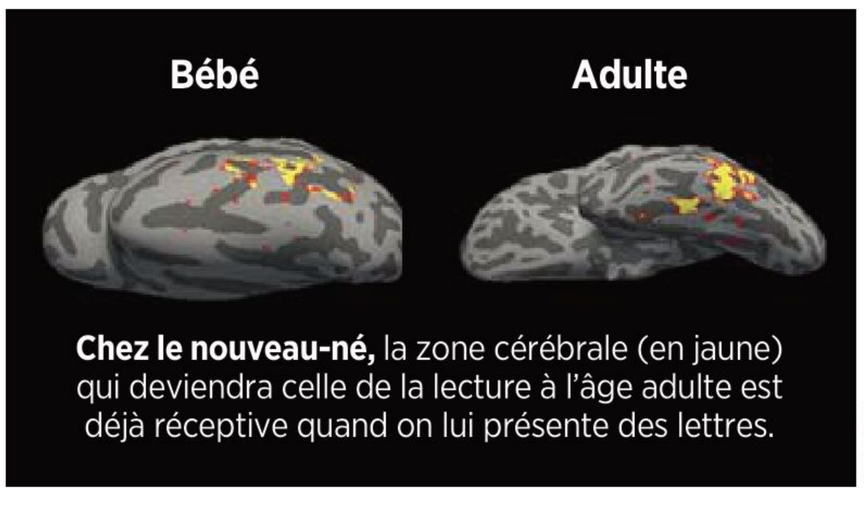
SOURCE : A. UNRUH-PINHEIRO, UNIVERSITÉ DE BONN, ALLEMAGNE.

◀ **L'activité** de certaines cellules nerveuses du cerveau indique notre degré de confiance dans une décision.

À la naissance, le cerveau est déjà préparé à la lecture

PÉDIATRIE À l'âge de une semaine, un nouveau-né dispose déjà d'une petite zone dans le cerveau « précâblée » pour être plus réceptive à la forme des lettres et des mots. Des chercheurs américains ont observé, par IRM fonctionnelle, l'activité neuronale de cette « zone de forme visuelle des mots » en montrant leurs premières lettres à des nourrissons de quelques jours. Dès la naissance, cette zone est déjà davantage connectée au futur réseau du langage qu'à d'autres parties du cerveau. **H. J.**

SOURCE : JIN LI, UNIVERSITÉ D'ÉTAT DE L'OHIO, ÉTATS-UNIS.

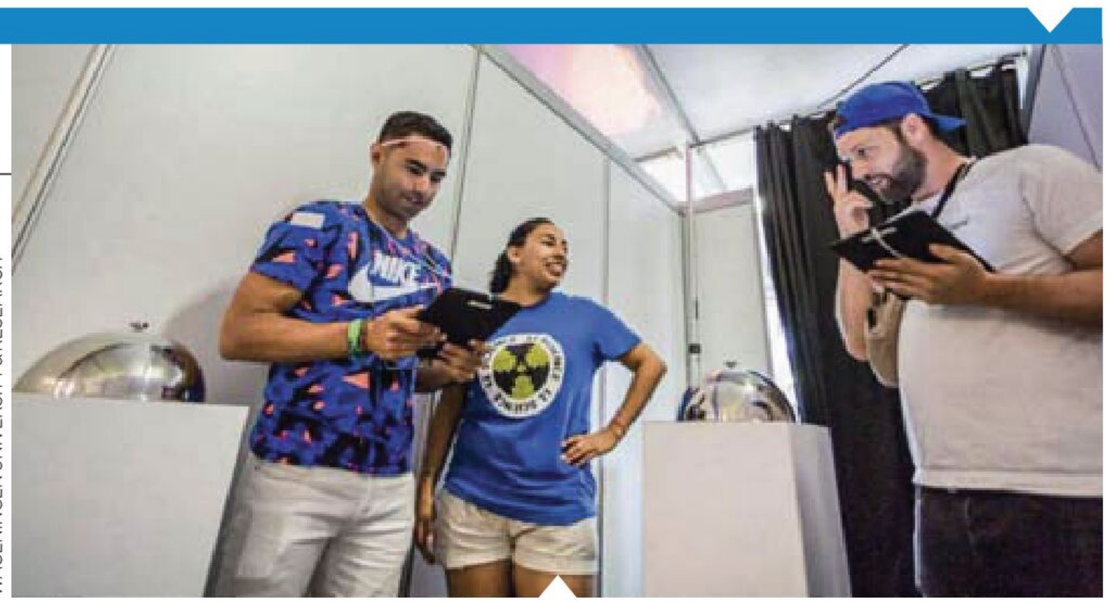


Chez le nouveau-né, la zone cérébrale (en jaune) qui deviendra celle de la lecture à l'âge adulte est déjà réceptive quand on lui présente des lettres.

JIN LI ET AL.

L'œil de Lascar

« LA DEUXIÈME VAGUE *n'est pas une abstraction, elle est là et elle est violente* » : voilà le constat du ministère de la Santé. Couvre-feu, confinement allégé par rapport à celui de mars, le gouvernement peine à trouver la bonne réponse face à la résurgence de l'épidémie *(lire aussi p. 70)*. **O. L.**



WAGENINGEN UNIVERSITY & RESEARCH

Invités à retrouver la nourriture placée sous cloche dans un labyrinthe, les participants ont été plus performants avec les aliments les plus riches.

On mémorise mieux l'emplacement des aliments caloriques

NUTRITION Plus un aliment est nutritif, mieux on mémorise sa position dans l'environnement. Des scientifiques néerlandais l'ont montré en invitant 512 personnes à explorer un labyrinthe où étaient disposés sous cloche des échantillons ou un coton imbibé de l'odeur de huit aliments différents — du chocolat au concombre. À la sortie, le taux de bonnes réponses augmentait de 27 % lorsqu'il s'agissait des aliments les plus caloriques. **C. G.**

SOURCE : RACHELLE DE VRIES, UNIVERSITÉ DE WAGENINGUE, PAYS-BAS.

Des microplastiques libérés dans le lait de biberons

TOXICOLOGIE Les biberons en polypropylène peuvent relâcher jusqu'à 16 millions de particules de microplastiques par litre de lait, d'après une estimation du Trinity College de Dublin (Irlande). Et la température joue un rôle important. Car ces particules sont relâchées lorsque le biberon est chauffé. En France, où l'eau est de bonne qualité, les autorités ne conseillent pas cette pratique. **C. G.**

TEK IMAGE/SPL/PHANIE

La température élevée au cours de la stérilisation entraîne la libération de microplastiques.

35-45 ans, l'âge du « top de la forme » pour les échecs

COGNITION C'est entre 35 et 45 ans que le joueur d'échecs est au sommet de ses performances cognitives selon une vaste analyse de 24 000 parties d'échecs jouées entre 1890 et 2014. La progression des performances cognitives de type jeux d'échecs est très rapide jusqu'à 20 ans, puis ralentit jusqu'à atteindre un plateau entre 35 et 45 ans avant de décliner. **H. J.**

SOURCE : ANTHONY STRITTMATTER, INSTITUT POLYTECHNIQUE PARIS.

AFP

Le Norvégien Magnus Carlsen, 30 ans, est le troisième plus jeune champion du monde de l'histoire.

www.lesproduitsdumois.com

Scan me

GÉREZ LE STRESS ET BOOSTEZ VOTRE ÉNERGIE !

RETROUVEZ ÉNERGIE ET SÉRÉNITÉ GRÂCE À D-STRESS® BOOSTER !

D-Stress® Booster est une formule unique et **brevetée** qui agit durablement sur le stress du quotidien.

A base de **magnésium de 3ème génération**, il est parfaitement assimilé par l'organisme et agit sans effets secondaires.

L'arginine et la taurine, présents naturellement dans l'organisme, participent à l'assimilation du magnésium. Il contient également des vitamines B2, B3, B5, B6 qui contribuent au métabolisme énergétique et aident à réduire la fatigue.

D-Stress® Booster, une formule unique, votre allié contre le stress du quotidien !

■ Agit rapidement et sans accoutumance. Prendre 1 sachet par jour, au petit-déjeuner. En pharmacie, env. 17€, boîte 20 sachets, ACL 5136879 ou commandez sur www.synergiashop.com.
Laboratoire Synergia. Infos et commandes au 04 77 42 30 10.

BRUITS ET SIFFLEMENTS D'OREILLE

La plupart des dommages du système auditif pourraient être atténués par une régulation de la microcirculation sanguine et un renforcement des systèmes de défense antioxydante au niveau de l'oreille interne.

C'est précisément dans ce but que les ingrédients de **TONE** ont été sélectionnés.

Commercialisée avec succès depuis plus de 10 ans en Scandinavie, c'est grâce à ses **ingrédients fortement concentrés** (extraits de plantes, vitamines et minéraux), et en particulier au Ginkgo qui stimule la microcirculation sanguine et préserve une bonne audition, que la formule naturelle de **TONE aide à lutter contre les bruits et les sifflements dans les oreilles.**

■ En pharmacie - Convient aux végétariens, non testé sur les animaux. Boîte de 60 cp / flacon de 180 cp ACL 6087456 / 6016794. Questions ? New Nordic au 01 85 12 12 12 (tarif local) - www.vitalco.com

POUR VOTRE SANTÉ, PRATIQUEZ UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE RÉGULIÈRE
Pour paraître dans cette rubrique, R'Médias 01 46 48 85 41 - photos D.R.

1,1 million

Le nombre de traitements supplémentaires d'anxiolytiques en France au 1er semestre 2020

THÉRAPEUTIQUE
Les somnifères sont aussi à la hausse (+480 000) mais pas les antidépresseurs. La consommation des autres classes thérapeutiques a en revanche connu un effondrement avec le confinement. **S. R.-M.**

SOURCE : DR ALAIN WEILL, EPI-PHARE - GROUPEMENT D'INTÉRÊT SCIENTIFIQUE, ANSM-CNAM.

SCIENCE PHOTO LIBRARY

« Penicillium notatum » a permis à Alexander Fleming de découvrir la pénicilline.

Le premier antibiotique livre ses secrets

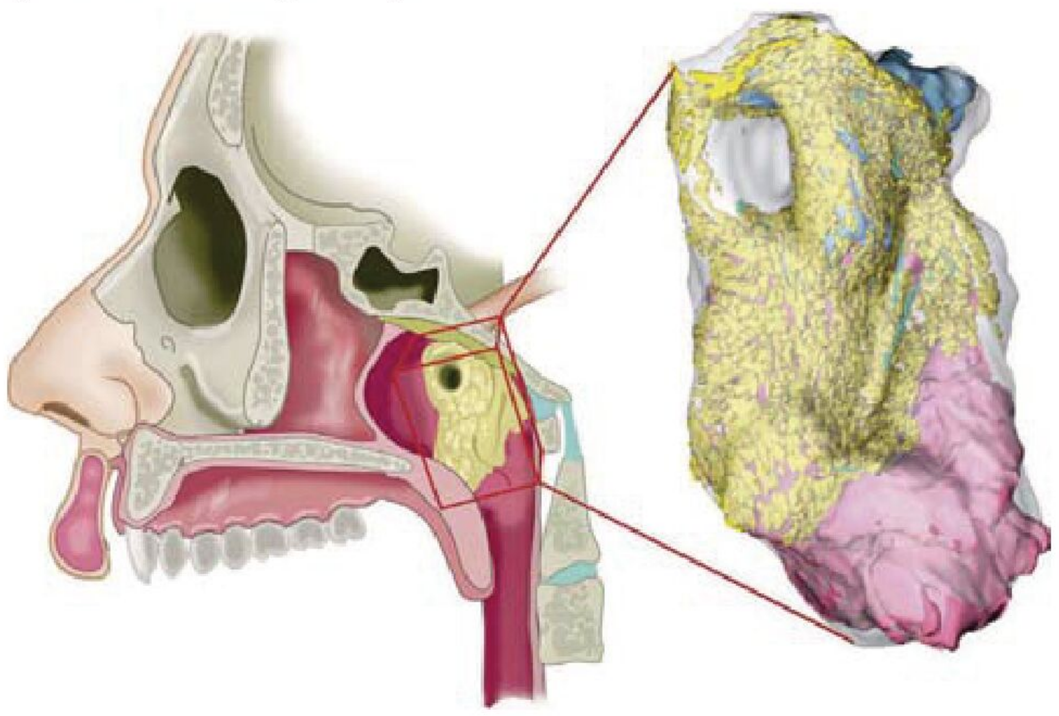
THÉRAPEUTIQUE Le génome de la première moisissure ayant conduit à la découverte de la pénicilline par Alexander Fleming en 1928 vient d'être séquencé. Et il apparaît que cette souche originelle britannique diffère de celles utilisées outre-Atlantique pour créer les antibiotiques industriels. Une étude plus fine permettra peut-être d'obtenir des pénicillines échappant à la résistance bactérienne. **H. R**

SOURCE : AYUSH PATHAK, IMPERIAL COLLEGE LONDON, ROYAUME-UNI.

Un organe inconnu au centre de la tête

Il servirait à lubrifier les deux parties supérieures du pharynx pour faciliter la déglutition.

PHYSIOLOGIE C'est en observant des images réalisées dans le cadre d'une étude sur le cancer de la prostate qu'une équipe internationale de médecins a remarqué une paire de glandes encore jamais observées... au centre de la tête ! Ce nouvel organe se situe derrière le nez, au-dessus du palais. Dans un second temps, en procédant à des autopsies, ils ont bien identifié ces glandes et ont établi qu'elles sont reliées à de grands conduits de drainage, laissant penser qu'elles canalisent des fluides d'un endroit à un autre. Les chercheurs supposent que ces glandes servent à lubrifier le nasopharynx et l'oropharynx, les deux parties supérieures du pharynx, pour faciliter la déglutition. Ils devront confirmer leur découverte sur un échantillon de patients plus large avant de pouvoir conclure qu'un autre organe que les glandes salivaires, situées près des oreilles, sous la mâchoire et sous la langue, aide à digérer comme à parler en humidifiant la bouche. **C. L.**



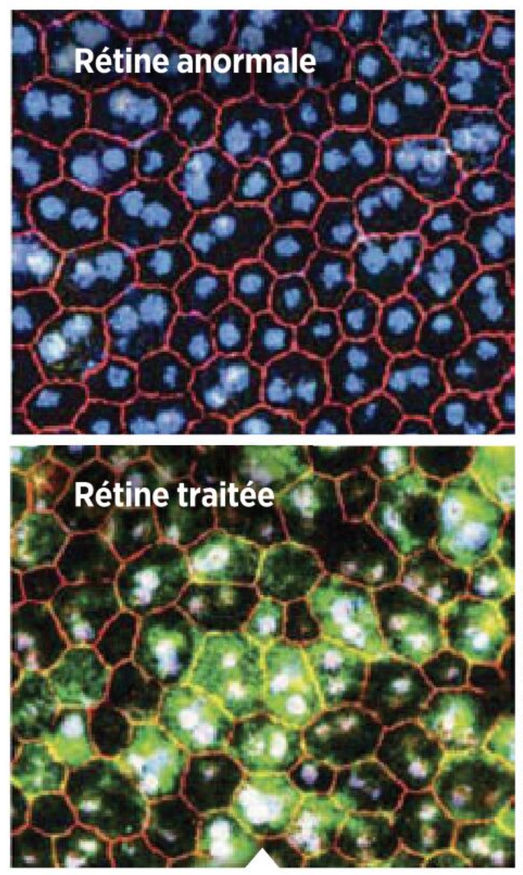
NETHERLANDS CANCER INSTITUTE

Les deux glandes (en jaune), situées derrière le nez, seraient distinctes des glandes salivaires (situées près des oreilles).

Une thérapie génique ciblée rend la vue à des souris

OPHTALMOLOGIE
Une mutation génétique qui entraîne la cécité chez les souris a pu être corrigée *in vivo*. L'enzyme correctrice, introduite dans les cellules pigmentaires de la rétine par un virus, a été couplée à la protéine Cas9 pour l'amener sur le gène à corriger dans l'ADN. Le fait que les souris aient recouvré une vue presque normale est de bon augure pour traiter les maladies génétiques rétiniennes. **P. K.**

SOURCE : SUSIE SUH, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE, ÉTATS-UNIS.



NATURE BIOMEDICAL ENGINEERING

Une enzyme nécessaire à la vision (en vert, en bas) a été introduite grâce à un virus.

Diagnostiquer l'AVC avec son smartphone

NEUROLOGIE Pour accélérer le diagnostic des accidents vasculaires cérébraux (AVC), des chercheurs ont développé une application capable d'analyser deux symptômes caractéristiques : les déformations du visage et les difficultés d'expression orale. L'algorithme d'intelligence artificielle atteint une précision de 79 %, comparable aux diagnostics en salles d'urgences. H. J.

SOURCE : JAMES WANG, UNIVERSITÉ D'ÉTAT DE PENNSYLVANIE, ÉTATS-UNIS.

PUBLICITÉ

Fonctionnement du cerveau

Mémoriser, raisonner, anticiper, planifier, comprendre… les capacités du cerveau sont illimitées.

Au rythme du cerveau

Le cerveau émet en permanence des ondes dont la fréquence dépend de son activité. Eveil, sommeil, phase intense de réflexion : pour chaque état cérébral, l'activité neuronale est caractérisée par un type d'onde.

Ondes alpha, bêta, gamma : leur rôle est complexe et leur émission par le cerveau dépend de nombreux facteurs, comme l'état psychologique ou encore l'alimentation.

Des études récentes ont par exemple montré le lien étonnant entre Thé vert et ondes alpha. Les feuilles de Thé vert contiennent naturellement une substance appelée L-théanine. Malgré son nom, elle n'a aucun lien avec la théine et ne provoque aucune excitation, bien au contraire. La L-théanine régule la production d'ondes alpha : en situation d'effort intellectuel prolongé, elle est capable de diminuer leur production par le cerveau, ce qui favorise la mémorisation et la concentration. À l'inverse, si le cerveau se trouve en phase d'endormissement, elle stimule leur émission, d'où un effet relaxant propice au sommeil.

Théorie des signatures

La Théorie des Signatures était une méthode d'observation dans l'Antiquité, selon laquelle l'aspect des plantes était une indication de leurs bienfaits pour le corps. La science moderne a depuis confirmé l'efficacité de certaines plantes sur la partie du corps à laquelle elles ressemblent. Ainsi débarrassée de sa coque, la Noix ressemble fortement à un cerveau. Elle est riche en Omegas et en antioxydants, et plusieurs études ont montré ses bienfaits sur la mémoire.

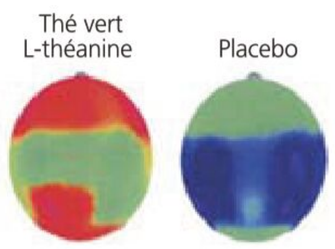
Indispensable irrigation

Le cerveau est incapable de constituer des réserves, et doit donc être alimenté en permanence en glucose. Celui-ci est apporté grâce à un vaste réseau de capillaires, de petits vaisseaux sanguins qui permettent d'irriguer efficacement l'ensemble du cerveau. Leurs fines parois laissent passer le glucose mais aussi l'oxygène indispensable au bon fonctionnement du cerveau. En effet, quelques minutes seulement sans oxygène y entraîne des lésions irréversibles. Là encore, l'alimentation et le mode de vie en général jouent un rôle primordial. La consommation d'aliments riches en antioxydants qui protègent les capillaires, et plus spécifiquement en polyphénols, influence directement le fonctionnement cérébral. Les recherches convergent notamment sur le Pin maritime, dont l'écorce renferme de grandes quantités de proanthocyanidines ou OPC, des polyphénols capables de stimuler la microcirculation sanguine dans les capillaires.

B comme bénéfiques

Le cerveau utilise aussi une multitude de vitamines et minéraux pour fonctionner. Un apport suffisant en vitamines B est particulièrement bénéfique pour maintenir des fonctions cognitives normales (mémoire, concentration, attention). La vitamine B5 par exemple est essentielle à la production de neurotransmetteurs, des substances chimiques qui permettent aux signaux électriques de passer d'un neurone à l'autre pour faire circuler l'information.

Le cerveau passé au scanner



L'activité cérébrale peut être observée grâce au scanner qui met en évidence les zones activées en fonction de l'état dans lequel se trouve le cerveau. La consommation de L-théanine (en rouge) active les zones de la mémoire et de la concentration. Sans L-théanine, ces zones restent inactives (en bleu). Les nombreux travaux de recherche effectués sur le fonctionnement du cerveau ont permis de mettre au point des solutions pour améliorer les fonctions cognitives et les performances intellectuelles. Le laboratoire de recherche végétale New Nordic a mis au point une formule complètement naturelle à base de plantes et vitamines. Baptisée **Cerveau Clair**, elle contient des extraits concentrés de Thé vert, de Noix, de Pin maritime et de Grenade, associés à des vitamines et de l'Iode pour optimiser les performances cérébrales. Ces actifs sont capables d'atteindre le cerveau en quelques heures et sont efficaces sur le long terme. Ils sont donc indiqués pour stimuler les capacités intellectuelles, la concentration et la mémoire, notamment en période de révisions ou d'examens, mais aussi pendant des programmes de plusieurs mois. Les actifs de **Cerveau Clair** atteignent rapidement le cerveau, pour une efficacité en moins d'une heure. Réservé aux adultes de plus de 15 ans.

Cerveau Clair 60 cp est disponible en pharmacie et espaces diététiques sous le code **ACL 295 18 63**
Questions ? Les experts New Nordic vous répondent au 01 84 21 37 65 (tarif local).
www.vitalco.com

S.SORIANO/FIGAROPHOTO.COM

QUESTIONS À

Christian Grataloup

Spécialiste de géohistoire de l'Ancien Monde, professeur émérite de l'université de Paris

La Chine refuse que soit célébré Gengis Khan

L'exposition « Fils du ciel et des steppes » consacrée à la Mongolie et à Gengis Khan au musée d'Histoire de Nantes a été annulée.

La Chine a exigé du musée qu'il n'utilise pas le nom de Gengis Khan, de Mongolie et d'empire… Pourquoi ?
Les Mongols sont, pour les Chinois, un très mauvais souvenir. Celui d'invasions, de destructions et surtout de soumission. L'incident pour cette exposition réalisée avec un musée de Mongolie-Intérieure — une région autonome de la Chine — s'inscrit dans une réécriture de l'histoire. Les autorités gomment tout ce qui est négatif. Or en 1207, s'est constituée à la périphérie du pays une puissance militaire redoutable avec à sa tête Gengis Khan. Celui-ci est à l'origine d'une dynastie non chinoise fondée par son petit-fils Kubilai Khan : celle des Yuan. L'idée même que la Chine ait pu appartenir à un empire mongol — c'est-à-dire être colonisée — est littéralement inconcevable pour le pouvoir !

Comment expliquer ces revendications ?
Ces demandes s'inscrivent dans un contexte politique particulier : elles coïncident avec des manifestations en Mongolie-Intérieure contre l'imposition du mandarin — la langue de l'administration — à l'école élémentaire. Il y a une réelle volonté de Pékin d'éradiquer les langues non chinoises.

Alors qu'en Occident la perception de Gengis Khan est bien différente ?
Gengis Khan fascine. Il a été à la tête du plus grand empire de tous les temps ! Cette période correspond aux pérégrinations de Marco Polo, à l'explosion des grands échanges commerciaux. Mais dans la psyché chinoise, il n'est pas concevable d'accepter une exposition valorisant Gengis Khan. **Propos recueillis par B. A.**

L.M. VALDEZ

Les animaux sacrifiés, au pelage intact, étaient parés de cordelettes colorées.

Des lamas inhumés vivants pour un rituel inca

ARCHÉOLOGIE Du jamais vu : quatre lamas aux toisons parfaitement conservées malgré un séjour de 600 ans dans le sol ont été découverts sur le site de Tambo Viejo, au sud du Pérou. Richement parés, le museau encore recouvert de tracés à l'ocre rouge, et porteurs de longues cordelettes colorées fixées à leurs oreilles, ces animaux auraient été inhumés vivants. Ces rituels incas peu connus auraient servi à renforcer les liens avec les habitants des régions nouvellement conquises. **B. A.**

Un sanctuaire païen viking en Norvège

ARCHÉOLOGIE Thor, Fryer ou Odin… : ces divinités du panthéon viking étaient sans doute vénérées dans le sanctuaire païen (VIIIe-XIe siècle) mis au jour à Ose, en Norvège. Vieux de 1200 ans, ces vestiges constitueraient la plus ancienne structure de ce type connue. Le bâtiment de 14 mètres de long pour 8 m de large et probablement une dizaine de mètres de haut était utilisé pour adorer et offrir des sacrifices aux dieux pendant les solstices d'été et d'hiver. **B. A.**

UNIVERSITY MUSEUM OF BERGEN

L'édifice comportait une tour centrale sans doute inspirée par les clochers des églises.

Ces pas racontent un périple réalisé il y a 10 000 ans

PRÉHISTOIRE Il a plus de 10 000 ans, à la fin du pléistocène, une femme de petite corpulence (ou un adolescent) a fait un aller-retour sur 1,5 kilomètre, tenant un enfant de 2 ans à bout de bras. L'analyse de ses traces fossilisées, découvertes au parc de White Sands (Nouveau-Mexique, États-Unis), révèle qu'elle le déplaçait de droite à gauche, tentant très probablement de soulager ses muscles, le posant même parfois à terre. Et constat mystérieux : l'enfant était absent au retour. **A.-S. T.**

SOURCE : MATTHEW BENNET, UNIVERSITÉ DE BOURNEMOUTH, ROYAUME-UNI.

CORNELL UNIVERSITY

L'analyse des empreintes a montré que l'individu portait un enfant dans ses bras.

Une nouvelle méthode pour protéger les vestiges en bois

CONSERVATION Pour stopper la dégradation des épaves qui ont passé des siècles sous l'eau, une fois ramenées à l'air libre, des scientifiques ont mis au point une nouvelle technique empêchant l'oxydation du bois. Elle consiste en une injection de nanoparticules de calcium et de magnésium qui pénètrent dans les interstices du bois et les bouchent, empêchant ainsi l'acidification. La nouvelle méthode pourra même être utilisée directement sous l'eau. **L. C.**

SOURCE : GUILIANA TAGLIERI, UNIVERSITÉ DE L'AQUILA, ITALIE.

trouver des plantes près de chez moi

Tchungle Jardinerie

20 Rue de la Division Leclerc, Strasbourg

Retrait en magasin

Google

Ensemble, continuons de soutenir
les commerces de proximité.

Il y a 3000 ans, des cavaliers jouaient déjà à la balle

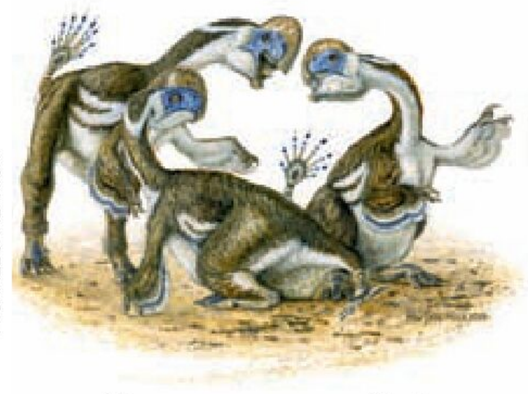
Les plus anciennes balles de cuir ont été découvertes en Chine.

Ces balles étaient probablement utilisées dans une sorte de jeu de polo opposant des cavaliers munis d'un bâton courbe.

X.Y. CHEN AND P. WERTMANN

ARCHÉOLOGIE Jusqu'à présent, les archéologues pensaient qu'en Europe et en Asie, la pratique des jeux de balle remontait à quelque -2500 ans. Mais des scientifiques suisses, allemands et chinois viennent d'examiner trois balles en cuir trouvées dans des tombes de l'ancien cimetière de Yanghai, au Xingjiang, dans le nord-ouest de la Chine, et ils ont découvert qu'elles ont servi entre -2900 ans et -3200 ans. *« Elles sont environ cinq siècles plus vieilles que les plus anciennes balles et représentations connues en Eurasie »*, se félicite Patrick Wertmann, coauteur de l'étude et chercheur à l'université de Zurich (Suisse).

Comment jouait-on avec ces balles dont le diamètre varie de 7,4 cm à 9,2 cm ? Des représentations retrouvées en Chine montrent que des cavaliers utilisaient des bâtons courbés. Or deux des trois balles ont été découvertes dans des sépultures de cavaliers. Des bâtons ont été mis au jour à Yanghai mais pas près des balles, aussi est-il impossible de conclure à ce stade. Reste que les premières balles connues sont bien plus anciennes : en lin, elles ont été fabriquées en Égypte il y a 4500 ans. **A.-S. T.**



MICHAEL SKREPNICK

« Oksovo avarsan » était pourvu d'un bec à la façon des perroquets (vue d'artiste).

Un dinosaure sans dents et avec un doigt en moins

PALÉONTOLOGIE Pas de risque de se faire croquer avec *Oksoko avarsan* : il n'avait pas de dents mais un bec à la façon des perroquets. Cette espèce qui vient d'être identifiée vivait il y a 68 millions d'années environ, dans ce qui est aujourd'hui le désert de Gobi, en Mongolie. Elle se distingue aussi par des avant-bras prolongés de deux doigts au lieu de trois chez leurs plus proches parents, les oviraptors. **J. I.**

SOURCE : GREGORY FUNSTON, UNIVERSITÉ D'ÉDIMBOURG, ÉCOSSE.

150 millions d'années Le temps qu'il a fallu aux ptérosaures pour savoir voler

PALÉONTOLOGIE En combinant des données sur les fossiles de 75 ptérosaures avec un nouveau modèle de vol reposant sur l'étude des oiseaux modernes, des scientifiques ont établi qu'il a fallu 150 millions d'années à ces dinosaures pour maîtriser l'art d'évoluer dans les airs. Ainsi, leur forme, taille, ailes et aérodynamisme se sont-ils graduellement modifiés pour gagner en efficacité. H. R.

SOURCE : DAVID UNWIN, UNIVERSITÉ DE LEICESTER, ROYAUME-UNI.

www.sciencesetavenir.fr et www.larecherche.fr
Sciences et Avenir et La Recherche au quotidien

ROBOT

Spot à Tchernobyl

SSE CHNPP

Le chien robot de la société Boston Dynamics a été mis en œuvre sur le site de la centrale nucléaire ukrainienne afin de tester l'emploi de machines télécommandées dans la zone d'exclusion.
sciav.fr/Spot886

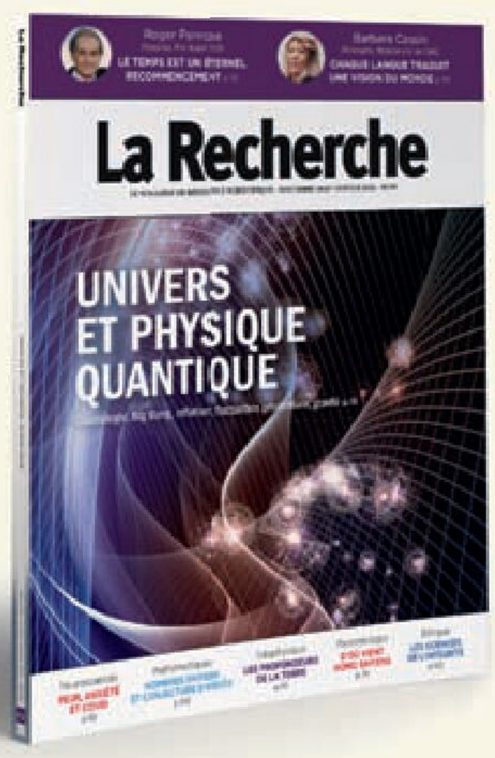
PSYCHOLOGIE

Du réalisme dans « Game of Thrones »

COLLECTION CHRISTOPHEL

Foisonnante et meurtrière, la saga respecte pourtant le nombre et le schéma des contacts sociaux typiques de la vraie vie, selon une étude britannique et irlandaise publiée dans les PNAS.
sciav.fr/GOT886

Vous êtes déjà 2 millions à nous suivre sur Facebook



NOUVEAU

Un trimestriel de référence pour « La Recherche »

Une trentaine de chercheurs ont participé à ce « livre-magazine » qui réinvente *La Recherche* à l'occasion de son 50e anniversaire. En couverture : comprendre d'où vient notre univers ! Le nouveau trimestriel est disponible en kiosque et dans les librairies. Vous pouvez aussi l'acheter sur notre site Web, en version numérique ou papier (frais de port offerts dans le monde entier).
www.larecherche.fr/parution/trimestriel-563

(1) Selon le rapport d'activité Apprentis d'Auteuil 2019.
Agence Marcel - © Aurélien Chauvaud.

Comment IA et CERVEAU collaborent

Puissance contre intuition, spécialisation contre plasticité… L'intelligence artificielle et l'humain ont des atouts complémentaires et l'alliance des deux commence à porter ses fruits dans le domaine médical comme dans la vie quotidienne.

Dossier réalisé par
Arnaud Devillard,
Hugo Jalinière et Elena Sender

DISONS-LE D'EMBLÉE : nous ne sommes pas à la veille d'une prise de pouvoir des machines intelligentes sur les humains qui les ont créées. Une inquiétude pourtant encore prégnante, comme en témoignent ces formulations relevées dans les titres de livres ou d'articles de presse récents : « *L'IA va-t-elle dépasser l'intelligence humaine ?* » ; nous mène-t-elle vers une « *humanité diminuée ?* » ; va-t-elle nous conduire à une « *Guerre des intelligences* » ? « *Historiquement, il est vrai que l'intelligence artificielle [IA], née dans les années 1950, avait pour objectif de faire produire des tâches humaines par des machines mimant l'activité du cerveau,* explique Jean Charlet, chercheur rattaché au Laboratoire d'informatique médicale et d'ingénierie des connaissances en e-santé (Limics) de l'Inserm. *Si bien que les tenants d'une intelligence artificielle dite forte visaient à concevoir une machine capable de raisonner comme l'humain, avec le risque supposé de générer une machine supérieure et dotée d'une conscience propre.* » Bien que de nombreux chercheurs en IA estiment aujourd'hui que cette voie de recherche « *n'est pas près d'aboutir* », elle continue d'être explorée. Plus réalistes, les tenants d'une IA dite faible veulent, eux, « *concevoir des machines capables de nous aider dans différentes tâches quotidiennes, mettant en œuvre des raisonnements plus ou moins proches des nôtres* », précise Jean Charlet. Loin de s'opposer ou de se faire la guerre, l'IA et le cerveau humain seraient donc faits, selon les scientifiques du domaine, pour collaborer !

Très différents l'un de l'autre, IA et cerveau ont des atouts complémentaires *(lire pp. 26-27)*. À commencer par la régularité de l'une contre les subtilités de l'autre : « *L'IA ne change jamais d'avis, donne toujours le même résultat pour une même situation donnée, n'a aucun état d'âme,* poursuit Jean Charlet. A contrario, *le cerveau humain sait interpréter des situations contextuelles qu'il est impossible de totalement décrire à la machine, du domaine du ressenti, de l'intuition.* » Mais l'alliance des deux commence aujourd'hui à porter ses fruits. Dans ▸

YUICHIRO CHINO/GETTY IMAGES

le domaine médical *(lire p. 28)*, comme dans la vie quotidienne *(lire p. 31)*. Cette nouvelle coopération fonctionne si bien que certains laboratoires des deux domaines ont fusionné. C'est le cas à Bordeaux avec l'équipe Physiologie et physiopathologie des fonctions exécutives (CNRS) du spécialiste des neurones biologiques Thomas Boraud, directeur de recherche au Neurocampus, et celle de Frédéric Alexandre, spécialiste des neurones artificiels, responsable scientifique de l'équipe-projet Mnémosyne (Inria).

Neurones biologiques et neurones artificiels

Si, de leur propre aveu, les deux équipes ont mis *« plus de six mois à parler le même langage »*, elles ont fini par dialoguer jusqu'à se réunir dans un même lieu, en 2013, travaillant aujourd'hui : *« Grâce à l'IA, nous construisons des modèles réduits de fonctionnement cérébral pour tester ensuite des hypothèses* in vivo [sur des cerveaux biologiques] », explique Thomas Boraud. *« Lorsque l'IA me pose un problème de modélisation, j'interroge mes collègues des neurosciences pour comprendre comment fonctionne le cerveau dans certaines situations »*, témoigne quant à lui Frédéric Alexandre. Entre autres découvertes, la concertation « IA - neurosciences » a élucidé ainsi un aspect de la maladie de Parkinson *(lire p. 28)*.

Il reste que cette collaboration entre humain et machine n'est pas toujours sans difficulté. *« Le cerveau humain a parfois du mal à s'adapter à l'IA »*, explique ainsi Fabien Lotte, directeur de recherche à Inria, qui a lancé le projet européen BrainConquest qui étudie notamment l'interaction entre les deux pour possiblement l'améliorer *(lire p. 34)*. La guerre cerveau-IA n'aura pas lieu ! ■ **E. S.**

ÉVALUATION

Cerveau et IA face à face

Quelles sont les forces et les faiblesses de nos fonctions cérébrales face à l'intelligence artificielle ? Match en six rounds.

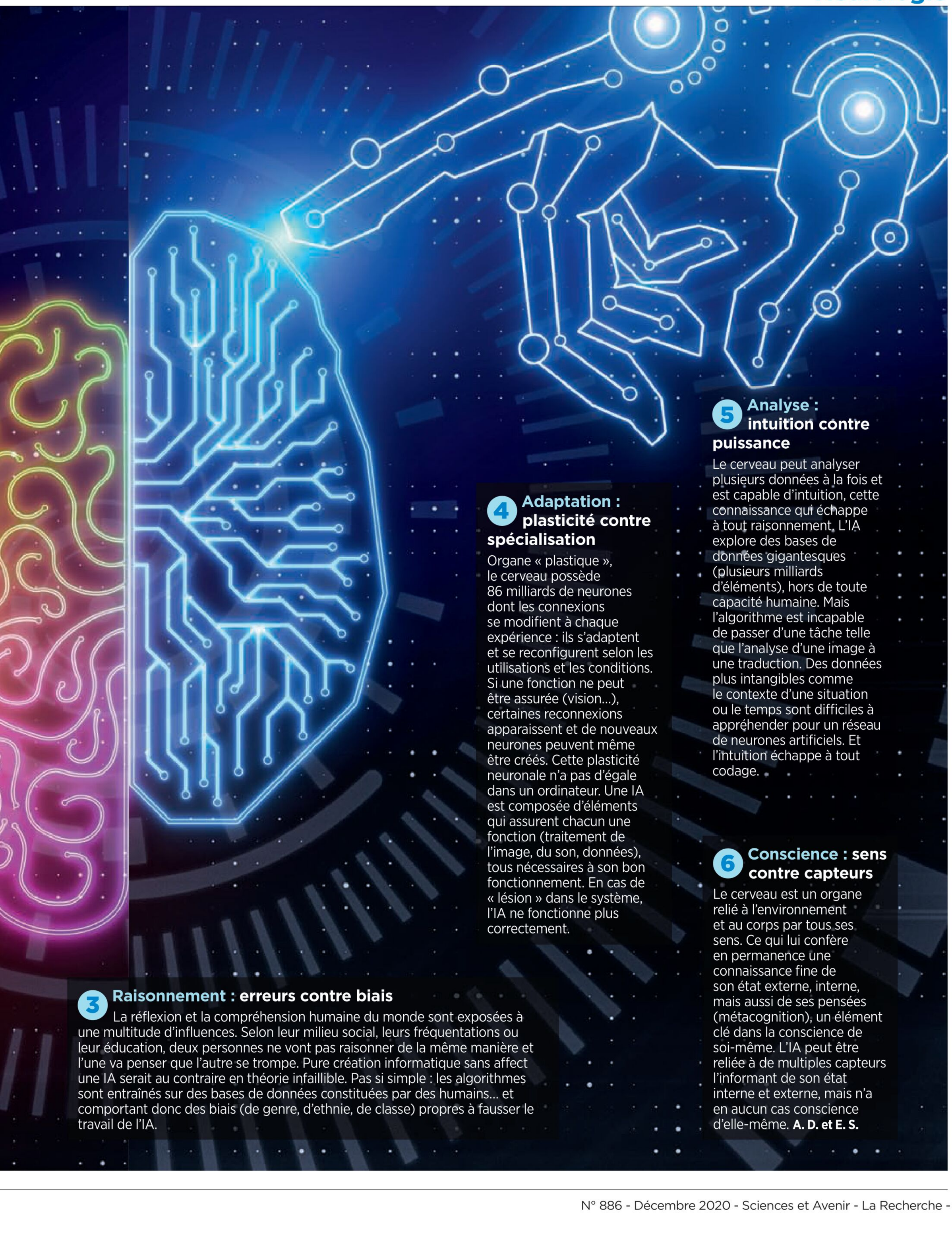
1 Prise de décision : versatilité contre constance

Pour prendre une décision, le cerveau humain forme une représentation mentale de la valeur de la récompense escomptée à la suite de son choix et de l'action à mettre en œuvre pour l'obtenir. Commence alors une compétition entre différentes populations de neurones, notamment entre le cortex et le thalamus, qui va donner une valeur aux différents choix possibles. Le circuit émotionnel joue un rôle important dans cette « boucle neuronale » et dans le choix final. L'IA mime ce processus décisionnel, le plus souvent grâce à un réseau de neurones artificiels qui attribuent des valeurs par des calculs à différentes options. Sans émotions et, surtout, contrairement à l'humain, sans jamais changer d'avis.

2 Mémoire : oubli contre infaillibilité

Le cerveau possède une mémoire composée de cinq systèmes interconnectés impliquant des réseaux neuronaux distincts : la mémoire de travail (à court terme), la mémoire sémantique et épisodique (mémoires des faits, des connaissances… à long terme), la mémoire procédurale (automatismes inconscients) et la mémoire perceptive (les sens). Cette mémoire, résultant d'une modification des connexions entre les neurones, est sans cesse remodelée, donc modifiable et faillible. L'IA a une mémoire infaillible. Ses informations sont stockées à long terme et sont disponibles à tout moment dans une « mémoire vive » et une « mémoire cache » (temporaire) qui aide le système à traiter plus vite l'information.

SHUTTERSTOCK



3 Raisonnement : erreurs contre biais

La réflexion et la compréhension humaine du monde sont exposées à une multitude d'influences. Selon leur milieu social, leurs fréquentations ou leur éducation, deux personnes ne vont pas raisonner de la même manière et l'une va penser que l'autre se trompe. Pure création informatique sans affect une IA serait au contraire en théorie infaillible. Pas si simple : les algorithmes sont entraînés sur des bases de données constituées par des humains... et comportant donc des biais (de genre, d'ethnie, de classe) propres à fausser le travail de l'IA.

4 Adaptation : plasticité contre spécialisation

Organe « plastique », le cerveau possède 86 milliards de neurones dont les connexions se modifient à chaque expérience : ils s'adaptent et se reconfigurent selon les utilisations et les conditions. Si une fonction ne peut être assurée (vision...), certaines reconnexions apparaissent et de nouveaux neurones peuvent même être créés. Cette plasticité neuronale n'a pas d'égale dans un ordinateur. Une IA est composée d'éléments qui assurent chacun une fonction (traitement de l'image, du son, données), tous nécessaires à son bon fonctionnement. En cas de « lésion » dans le système, l'IA ne fonctionne plus correctement.

5 Analyse : intuition contre puissance

Le cerveau peut analyser plusieurs données à la fois et est capable d'intuition, cette connaissance qui échappe à tout raisonnement. L'IA explore des bases de données gigantesques (plusieurs milliards d'éléments), hors de toute capacité humaine. Mais l'algorithme est incapable de passer d'une tâche telle que l'analyse d'une image à une traduction. Des données plus intangibles comme le contexte d'une situation ou le temps sont difficiles à appréhender pour un réseau de neurones artificiels. Et l'intuition échappe à tout codage.

6 Conscience : sens contre capteurs

Le cerveau est un organe relié à l'environnement et au corps par tous ses sens. Ce qui lui confère en permanence une connaissance fine de son état externe, interne, mais aussi de ses pensées (métacognition), un élément clé dans la conscience de soi-même. L'IA peut être reliée à de multiples capteurs l'informant de son état interne et externe, mais n'a en aucun cas conscience d'elle-même. **A. D. et E. S.**

RÉSEAU DE NEURONES Méthode d'IA qui consiste à simuler le fonctionnement des neurones biologiques et de leurs connexions.

DEEP LEARNING Forme complexe d'apprentissage automatique qui déduit des informations d'un vaste ensemble de données.

IA FAIBLE ET FORTE L'IA faible est centrée sur des tâches spécifiques. L'IA forte (théorique) produit une réflexion et comprend ses propres raisonnements.

Quand l'IA répare et soigne

Neuroprothèses, aide au diagnostic, interprétation d'images médicales… De nouvelles approches d'intelligence artificielle permettent aujourd'hui de développer des dispositifs de plus en plus fins et performants.

FRANK* SOUFFRE d'une sclérose latérale amyotrophique qui paralyse presque entièrement les muscles de ses bras. Pourtant, le voici qui tape un message sur son clavier d'ordinateur, clique et zoome quasiment sans erreur. Et ce, par la seule force de son cerveau ! Cette prouesse, publiée en octobre, par l'équipe de Thomas Oxley, du Melbourne Brain Center à l'hôpital royal de Melbourne (Australie), a été rendue possible grâce à une neuroprothèse nommée Strentrode, implantée dans les vaisseaux cérébraux de Frank, au contact du cortex moteur. Ce dispositif décrypte les ondes corticales (électrocortigraphie) émises pendant que le patient imagine le mouvement qu'il souhaite faire, et les traduit aussitôt en commandes motrices effectives. Le dispositif utilise pour cela un décodeur fonctionnant grâce à un algorithme d'intelligence artificielle qui apprend à détecter les intentions de mouvement dans les signaux cérébraux. *« Les commandes motrices variant d'une personne à l'autre, l'IA est apte à en analyser les particularités dans les signaux cérébraux afin de les interpréter*, explique Fabien Lotte directeur de recherche à Inria (Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique), et membre du Labri (Laboratoire bordelais de recherche en informatique) de l'université de Bordeaux. *En l'occurrence, les algorithmes mathématiques utilisés sont dits d'apprentissage* (machine learning), *c'est-à-dire qu'ils s'améliorent au fur et à mesure qu'ils décryptent des exemples de signaux cérébraux, en discriminant ceux qui correspondent à une intention de mouvement de ceux qui signent un état de repos.* » À l'automne 2019, un patient tétraplégique avait ainsi réussi à mouvoir un exosquelette grâce à une autre neuroprothèse, au centre de recherche Clinatec à Grenoble (*lire* S. et A. *n° 873, novembre 2019*).

C. MOREL/INRIA BORDEAUX - SUD-OUEST

Peanut assiste par ses conseils l'utilisateur d'une interface cerveau-ordinateur, pour lui permettre d'augmenter sa capacité de contrôle sur la machine.

« Les travaux de recherche actuels visent à améliorer les algorithmes pour interpréter de mieux en mieux les activités cérébrales et éviter les erreurs », poursuit Fabien Lotte. Ainsi, l'équipe Aramis, de l'Institut du cerveau (ICM) à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière à Paris, développe des outils mathématiques pour modéliser le cerveau sain et malade. Ce projet NETBCI a pour objectif de comprendre comment les différentes régions

MODÉLISATION

La maladie de Parkinson décryptée grâce à l'IA

Si l'IA permet de venir en soutien à certains cerveaux atteints par des maladies neurodégénératives, elle ouvre aussi de nouvelles voies pour les comprendre. C'est notamment le cas pour Parkinson. Le cerveau malade présente des oscillations atypiques de l'activité neuronale à la fréquence de 20 Hz au niveau d'une boucle cérébrale (interaction entre différents réseaux) impliquée dans le contrôle des mouvements. Sont-elles la cause ou la conséquence des symptômes moteurs (tremblements, rigidités, etc.) ? L'équipe de Thomas Boraud, directeur de recherche à Neurocampus à Bordeaux, a apporté la réponse en modélisant cette boucle grâce à l'IA. *« Nous y avons ensuite introduit des dysfonctionnements pour mimer la maladie et avons vu apparaître des oscillations »*, explique le chercheur pour qui ces dernières sont donc un effet secondaire et non la cause des symptômes. E. S.

C. MOREL/INRIA-ARAMIS

Le signal électrique émis par le cerveau et enregistré à l'aide d'un casque EEG est traité et interprété par un logiciel de commande (interface cerveau-ordinateur). Une expérience réalisée par l'équipe Aramis, à l'Institut du cerveau, à Paris.

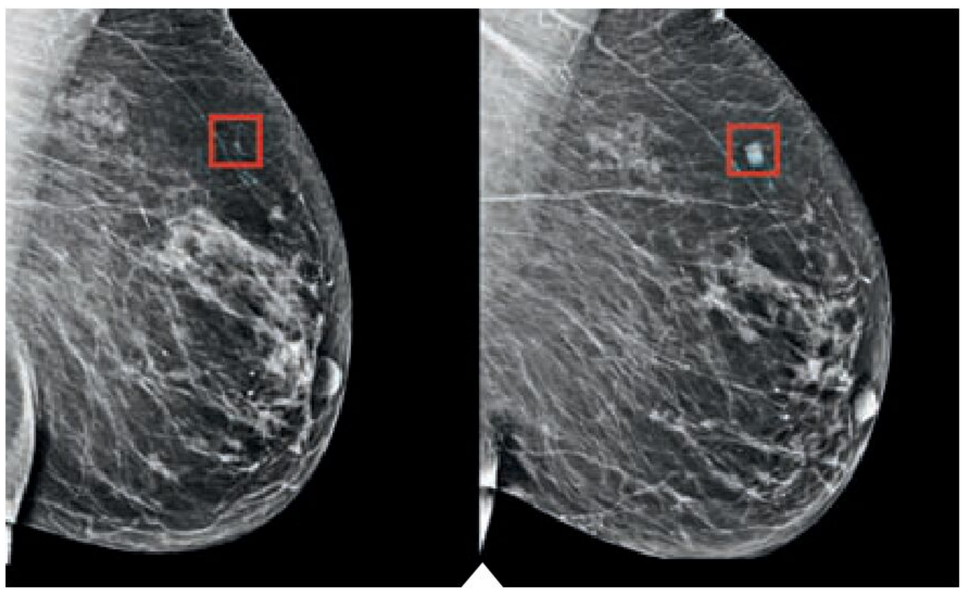
cérébrales travaillent en réseau lors d'un mouvement « imaginé ». Tout l'enjeu étant, *in fine*, que des signaux cérébraux captés par un casque d'électroencéphalographie (EEG) placé sur la tête du patient soient suffisamment bien interprétés. Opération délicate ! *« Entre 10 à 30 % des utilisateurs n'arrivent pas à contrôler des interfaces cerveau-ordinateur (ICO), selon une étude de 2010 de l'université de Californie (États-Unis) et de Graz (Autriche) »*, affirme Fabien Lotte. Ces utilisateurs, qui portent un casque EEG, ne parviennent pas à dialoguer avec l'IA, c'est-à-dire à « imaginer » une tâche mentale — comme un mouvement — de manière à ce qu'elle soit reconnue par l'ordinateur. *« La performance des ICO, c'est-à-dire le taux de commande correctement reconnue, est très variable selon les personnes*, poursuit le spécialiste. *Nous nous sommes ainsi rendu compte qu'améliorer les algorithmes ne suffisait pas. Il faut aussi étudier le comportement humain. Si le patient ne parvient pas à contrôler son activité cérébrale, l'algorithme interprétera mal sa commande. Travailler avec une interface cerveau-ordinateur, ça s'apprend. »*

Le chercheur et son équipe ont décroché en 2016 une bourse européenne ERC (European Research Council) dans le cadre du projet BrainConquest pour améliorer cette collaboration cerveau-machine. Comme premier résultat, l'équipe de Bordeaux a identifié les facteurs humains qui garantissent cette bonne coopération. *« Les performances sont influencées par les capacités individuelles du patient : celles de produire et de manipuler des images par la pensée, de rester attentif ou encore sa relation à la technologie, c'est-à-dire comment il perçoit l'interface. »*

Pour aider l'utilisateur, l'équipe de BrainConquest a créé PEANUT (Personalized Emotional Agent for Neurotechnologoy User Training), un petit robot compagnon d'apprentissage, sorte de borne pourvue d'un visage expressif. *« Il prodigue conseils et encouragements à l'utilisateur afin de permettre, selon une première phase de tests, d'augmenter les performances de contrôle. »* Demain, une vingtaine de laboratoires vont également se lancer dans une vaste étude internationale sur le vécu des humains face aux ICO et leur IA, pour tenter d'en extraire un cadre théorique utile à tous. *« Il*

faut que le cerveau et l'IA s'apprivoisent, résume Fabien Lotte. *C'est ce qu'on appelle désormais la coadaptation.* »

D'autres voies sont expérimentées aux côtés de ces interfaces cerveau-machine, « *en particulier l'IA dite symbolique, développée depuis les années 1980. Elle tente de reproduire la manière dont raisonne le cerveau humain en appliquant des règles logiques (déduction, classification, hiérarchisation…)* », rappelle ainsi Jean Charlet chercheur à l'AP-HP (Assistance publique-Hôpitaux de Paris), rattaché au Laboratoire d'informatique médicale et d'ingénierie des connaissances en e-santé (Limics) de l'Inserm. Cette approche a permis de développer des outils capables d'assister le médecin dans sa prise de décision. Ainsi, le Limics a participé au projet européen Desiree, qui aide les cliniciens à proposer à leurs patientes le traitement du cancer du sein le plus adapté à leur cas. « *Le programme travaille à partir des recommandations de bonnes pratiques mais aussi des cas déjà résolus, ou bien d'un raisonnement par expérience*, explique Jean Charlet. *L'IA devient alors une sorte de vérificateur du traitement.* »



MIT CSAIL

Un algorithme, reposant sur l'apprentissage profond, a pu prédire sur une mammographie un haut risque de tumeur (à gauche) cinq ans avant son développement (à droite).

JULIETTE TREILLET/CLINATEC ENDOWMENT FUND/AFP - CLINATEC ENDOWMENT FUND/AFP

La neuroprothèse de Clinatec (à droite), implantée dans la boîte crânienne, a permis à un tétraplégique de marcher, en contrôlant par son cerveau un exosquelette.

Extraire des connaissances de l'analyse de données

L'autre approche est l'IA dite numérique qui repose sur l'analyse d'énormes quantités de données (*big data*) pour en extraire des connaissances « *grâce un apprentissage automatique s'inspirant du fonctionnement cérébral, par succession d'essais et erreurs* », poursuit le spécialiste. Les applications les plus nombreuses sont actuellement l'interprétation d'images médicales pour repérer, par exemple des mélanomes, à partir de 50 000 clichés pour entraîner l'algorithme. Des tumeurs mammaires ont ainsi été mieux repérées sur des clichés que si ceux-ci avaient été examinés par des radiologues, selon une étude publiée en 2020 dans *Nature*, grâce à un programme d'IA de Google Health, entraîné sur 29 000 mammographies faites et interprétées au Royaume-Uni (deux lectures par deux radiologues) et aux États-Unis (une seule lecture). Entre autres, l'IA a réduit de 9,4 % le pourcentage de diagnostics manqués par rapport aux radiologues américains et 2,7 % par rapport aux britanniques.

L'humain doit rester le dernier décisionnaire

« *Actuellement les approches symbolique et numérique ont tendance à être mixées pour augmenter encore les possibilités* », relève Jean Charlet. Par exemple, le projet, PsyCare, lancé en janvier par le GHU Saint-Anne à Paris, sous la direction de la Pr Marie-Odile Krebs : il intègre les données de 500 patients mais aussi le raisonnement psychiatrique pour prédire l'apparition des troubles psychotiques chez les jeunes. Ainsi, une fois l'outil d'IA validé, le médecin pourrait évaluer le risque de schizophrénie à partir de tests médicaux (analyse sanguine, IRM cérébrale, questionnaires, mode d'expression, etc.) chez des jeunes de 15 à 25 ans. La médecine prédictive et personnalisée est sur les rails… Mais attention ! « *Introduire l'IA dans le cabinet de médecin n'est pas anodin. L'humain doit demeurer le dernier décisionnaire* », prévient Jean Charlet. Encore faut-il que le médecin comprenne ce qui a mené l'IA à privilégier tel diagnostic, tel traitement et qu'il s'autorise à le contester. « *Pour cela il faudrait que les soignants soient formés à l'IA, ce qui reste trop rarement le cas* », regrette le chercheur. ■

E. S. @Elenasender

* Le prénom a été changé.

NISSAN

Le programme B2V de Nissan utilise l'interface cerveau-machine pour mettre au point des aides à la conduite.

Une assistance bientôt incontournable

Enceintes connectées, traduction simultanée, domotique… Les champs d'application de l'intelligence artificielle se multiplient.

L'IA, tout au moins les technologies d'apprentissage automatique, imprègne déjà le quotidien, prenant le relais du cerveau pour des tâches très spécialisées. Les exemples sont connus, à commencer par les assistants vocaux des smartphones et des enceintes connectées, la recherche d'images dans des bases de données ou les balbutiements des voitures autonomes (*lire* Sciences et Avenir *hors série 199, « L'intelligence artificielle en 50 questions »*). Ce n'est qu'un début. On assiste à des avancées spectaculaires dans les domaines de la reconnaissance vocale et de la traduction automatique. C'est ainsi que sur la plate-forme de vidéos Youtube, on peut désormais choisir des sous-titres en français dans une séquence en anglais. Certes, il reste des imperfections. Voilà ce qu'on peut lire, par exemple, en ouverture d'un exposé où la chercheuse américaine Joy Buolamwini présente ses travaux au MIT Media Lab *« Bonjour, je suis Joy et je recherche comment les ordinateurs détectent, reconnaître et classer [sic] les visages des gens »*. Voire même des aberrations comme cette traduction : *« Le système que j'utilisais fonctionnait bien sur mon briquet le visage d'un ami écorché… »* Mais la technologie progresse à une telle vitesse que les professionnels de la transcription et de la traduction ont de quoi s'inquiéter.

Éteindre ou allumer des appareils par son cerveau

Les scientifiques voient déjà beaucoup plus loin. Ainsi, dans le cadre d'un projet de démonstrateur réalisé entre 2019 et 2020, Inria Rennes et Orange Labs ont réussi à associer activité cérébrale et pilotage d'une plate-forme domotique. Plus exactement, le prototype combine un capteur de fréquence de l'activité cérébrale, des lunettes de réalité augmentée HoloLens et, côté appareils connectés, un téléviseur, une lampe et une prise électrique à laquelle était branché un ventilateur. *« En utilisant la réalité augmentée, nous souhaitons capter l'attention visuelle de l'utilisateur pour comprendre les fonctionnalités qu'il veut activer »*, explique Anatole Lecuyer, responsable de l'équipe Hybrid à Inria Rennes. Ainsi, la personne chausse les lunettes, concentre ▶

ALGORITHMES

Apprendre aux machines

Selon la complexité des tâches à accomplir, les ingénieurs font appel à différentes méthodes pour contrôler les algorithmes. L'apprentissage par renforcement procède par essai-erreur. L'algorithme produit une action, un résultat, qui reçoit un signal positif ou négatif en retour. Le réseau génératif antagoniste (GAN) simule un rapport élève-correcteur entre deux algorithmes. Le premier (appelé générateur) produit une donnée sans avoir été entraîné au préalable. Le second (le discriminant) l'évalue en fonction d'une base de données sur laquelle, lui, a été entraîné. Enfin le réseau de neurones convolutifs s'inspire *grosso modo* du fonctionnement du cerveau, notamment pour la reconnaissance d'images. Cette technique consiste à analyser une donnée par couches successives.

CATHERINE PELACHAUD

DIRECTRICE DE RECHERCHE AU LABORATOIRE ISIR (INSTITUT DES SYSTÈMES INTELLIGENTS ET DE ROBOTIQUE)

« Les émotions des IA ne sont que simulation »

« Lorsqu'un événement survient, le cerveau humain l'évalue et produit des émotions en retour, selon la « théorie de l'évaluation cognitive » établie par Klaus Scherer, professeur de psychologie à l'université de Genève, en 2001. Ces émotions sont variables en fonction de l'histoire de chacun, de ses besoins, de ses buts... Elles permettent de prendre des décisions et peuvent être communiquées à autrui par les mots et l'expression non verbale. Dans notre laboratoire, nous concevons des intelligences artificielles que nous devons doter de cette capacité d'évaluation cognitive car elles sont amenées à entrer en interaction avec l'humain, comme un robot d'aide à la personne ou un agent conversationnel animé (personnage virtuel autonome). Elles doivent savoir identifier les émotions de l'humain pour y répondre de manière adaptée, afin d'augmenter la motivation à collaborer. Pour « donner » des émotions à l'IA, nous nous appuyons sur des modèles établis par des théoriciens et des psychologues et sur des corpus d'observations d'interactions entre êtres humains (regard, expressions faciales, langage corporel...). Ces interactions sont ensuite traduites en modèle numérique grâce à des réseaux de neurones artificiels, une méthode d'IA statistique qui mime le fonctionnement des neurones biologiques. Puis ce modèle est implanté dans un agent conversationnel animé capable de sourire, de rire, d'acquiescer..., placé en interaction avec des humains. Celui-ci se perfectionne alors par apprentissage par renforcement (essais/erreurs) jusqu'à ce qu'il trouve le bon geste à faire, le sourire juste ou encore l'approbation non verbale adéquats pour obtenir la réponse adaptée de l'humain.

LUC JULIA

VICE-PRÉSIDENT INNOVATION ET DIRECTEUR DE LA TECHNOLOGIE DE SAMSUNG, AUTEUR DE « L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE N'EXISTE PAS » (FIRST ÉDITIONS, 2019)

« C'est notre intelligence humaine qui est augmentée par la technologie »

« Je privilégie la notion d'intelligence augmentée à celle d'intelligence artificielle, ce qui permet au passage de garder l'acronyme IA. Mais pas pour opposer l'une à l'autre. Je veux signifier que c'est notre intelligence à nous, humains, qui est augmentée par la technologie. Car dans la réalité, l'IA, malgré ce que peuvent en dire les médias ou en montrer les films hollywoodiens, n'est qu'un outil dont nous avons le contrôle. Cette faculté d'augmenter nos capacités remonte à la « pascaline » de Blaise Pascal, en 1642 : en deux ou trois secondes, cette machine opérait un calcul. La différence essentielle entre notre intelligence et celle apportée par les machines réside dans ce que cette dernière est ciblée. Elle va nous permettre d'être de plus en plus forts, de plus en plus rapides, mais sur une seule tâche. Il manque la « colle » qui lie l'ensemble. Et cette colle, c'est précisément l'intelligence humaine. Nous pourrons

« L'IA n'est douée ni de propioception ni de ressentis. Et je ne crois pas qu'elle les acquière un jour »
Catherine Pelachaud

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

Lorsqu'une IA – comme le robot humanoïde Sophia par exemple – nous sourit, on peut parfois s'interroger sur la réalité de son émotion. Mais ce n'est qu'une simulation ! L'IA n'est douée ni de proprioception — conscience de son comportement — ni de ressentis. Et je ne pense pas qu'elle les acquière un jour. Les machines doivent rester des machines, que l'on peut éteindre. » ■

Propos recueillis par E. S.

toujours capter les ondes cérébrales, et cela fait d'ailleurs longtemps que nous savons le faire. En revanche, nous n'avons toujours pas compris comment modifier les commandes qui viennent du cerveau comme on manipule un code informatique. Le projet NeuraLink d'Elon Musk prétend aller plus loin en introduisant une puce directement dans la tête pour étendre nos capacités. Or, sa première démonstration a bien montré qu'encore une fois, il ne s'agit que de lire le cerveau, c'est-à-dire capter l'activité cérébrale. Ce n'est impressionnant pour personne. Par ailleurs, on ne comprend pas assez le cerveau pour se lancer dans sa manipulation. Des interfaces gestuelles ou vocales permettent de bien mieux contrôler des applications, il n'est pas besoin d'adapter quoi que ce soit directement dans le cerveau. Nous passerons un cap quand les machines maîtriseront des notions comme le contexte ou le temps. Quand des objets connectés, par exemple, sauront réagir en fonction du moment de la journée, de divers signaux environnementaux et pas seulement en fonction de modalités humaines. C'est moins intrusif qu'un implant cérébral mais cela reste compliqué à mettre en œuvre car il faut analyser divers types d'informations en même temps. L'humain en est capable. Pas la machine. » ■

Propos recueillis par A.D.

« Un cap sera franchi quand les machines maîtriseront des notions comme le contexte et le temps » **Luc Julia**

FRANCOIS GUENET/DIVERGENCE POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

▸ son regard sur l'un des objets de la pièce et, aussitôt, l'icône qui lui est associée se met clignoter sur l'écran, chaque icône ayant une fréquence de clignotement distincte. L'observer déclenche dans le cerveau une activité électrique cérébrale identique. Autrement dit, à chaque appareil son onde cérébrale. Quand ce signal est détecté par le capteur d'électroencéphalographie (EEG) qui coiffe l'utilisateur, il est traduit en commande par la plate-forme OpenVIBE, la technologie d'Inria. L'utilisateur peut ainsi allumer ou éteindre les appareils « par la pensée » et changer de chaîne de télé. Contrairement à d'autres interfaces cerveau-machine, l'utilisateur n'a nullement besoin d'entraîner son activité cérébrale.

Regarder une icône pour tout apprentissage

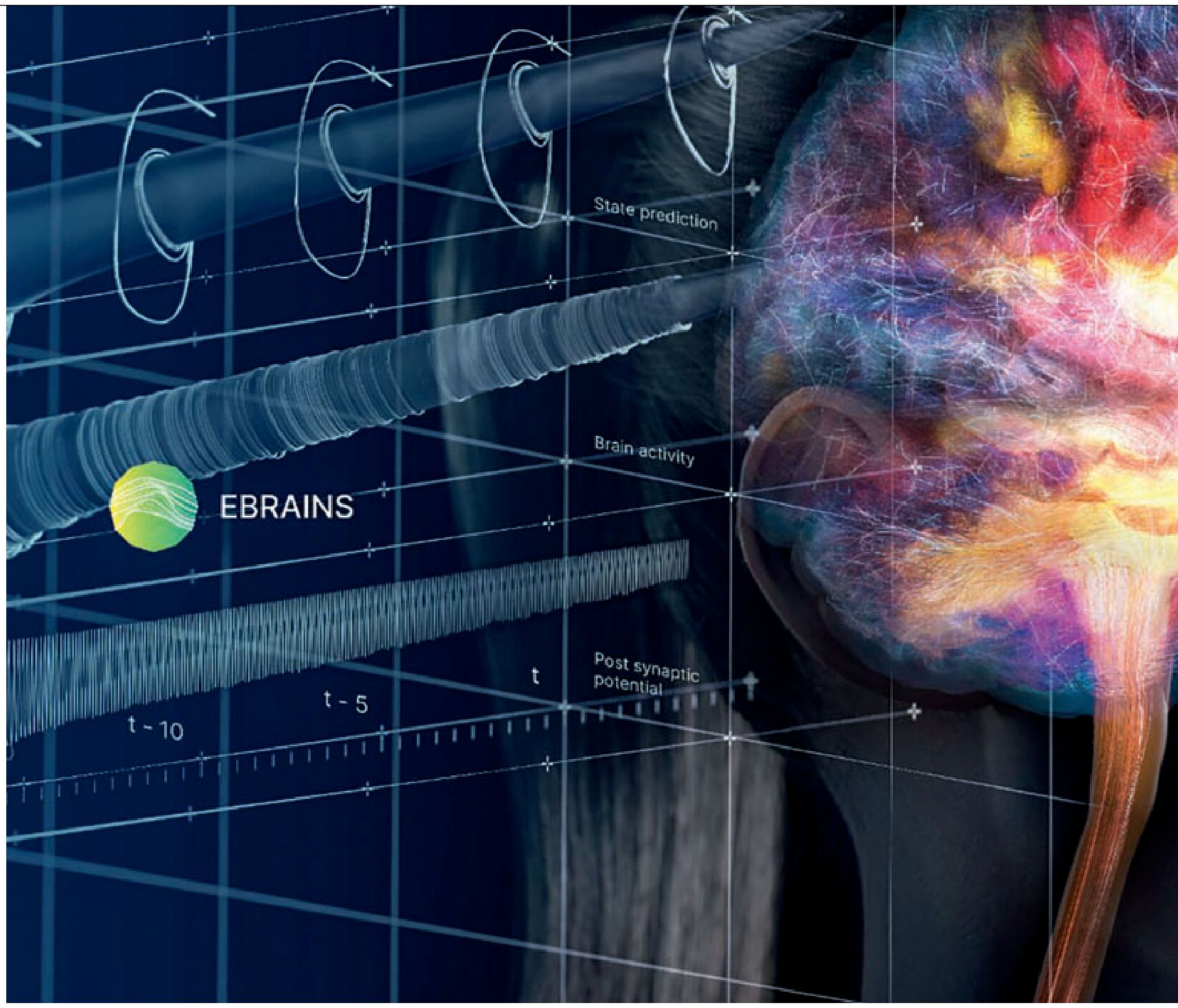
« *Nous pourrons parvenir à terme à supprimer le temps de calibrage de ces interfaces grâce à ce système de correspondance de fréquences*, estime Hakim Si-Mohammed, maître de conférences à l'université de Lille, auteur d'algorithmes innovants qui ont servi au projet. *Côté utilisateur, l'apprentissage se résume à regarder une icône.* » D'où une appropriation facile de la technique, d'autant que les tests ont révélé peu de faux négatifs selon les chercheurs. Seul vrai écueil, en l'état du prototype, la fatigue visuelle induite par les flashs des icônes dans l'HoloLens. Mais le projet ouvre de réelles perspectives en matière d'accessibilité notamment, « *un enjeu majeur des interfaces cerveau-machine* », insiste Hakim Si-Mohammed. C'est d'ailleurs pour redonner de la mobilité à des personnes handicapées moteurs en leur permettant de conduire de nouveau que le secteur automobile s'est également emparé de cette approche. Même si, à terme, le but est plus générale- ▸

ment d'améliorer l'ergonomie et le confort des automobilistes. Chez Nissan ou Audi, des projets, encore au stade de la recherche, combinent interface cerveau-machine, suivi du regard et commande vocale pour piloter certaines fonctions, prédire des actions, améliorer la conduite : lancer la musique, la ventilation, ouvrir ou fermer la portière, anticiper un appui sur la pédale de frein ou un changement de direction, etc.

Vers une IA capable de « généraliser »

Les robots sont également destinés à être dotés d'une « intelligence artificielle ». Mais le terme intelligence est-il pertinent ? « *Je préfère la formule de robots qui s'adaptent* », avertit Sylvain Calinon, au laboratoire de l'Institut de recherche Idiap à l'École polytechnique de Lausanne (Suisse). L'enjeu ? Éviter d'avoir à reprogrammer une machine quand celle-ci doit accomplir une tâche dans un environnement différent. Ainsi, si un robot sait fermer un carton d'un certain format, il doit pouvoir le faire avec un autre de dimension différente ; s'il a appris à attraper un outil sur un établi, il doit aussi le faire lorsque l'outil a changé de place. « *C'est la première étape vers une IA qui sache généraliser* », estime Sylvain Calinon. Son laboratoire fait ainsi le lien entre robotique et apprentissage basé sur l'imitation, l'émulation (compréhension du but à atteindre) et la kinesthésie (reproduction de mouvement). Des méthodes déjà éprouvées par le genre humain. Encore une preuve — s'il en fallait une — que l'avenir de l'IA ne peut s'envisager sans la coopération du cerveau humain. ■

A. D. @A_Devila



Demain, fusionner l'IA et les neurones

Plusieurs projets veulent aller plus loin et passer d'une collaboration étroite à une interdépendance entre les capacités du cerveau et la puissance de l'IA. Avec des succès très mitigés…

Connecter le cerveau humain et l'intelligence artificielle (IA) pour augmenter les capacités du premier et garder le contrôle de la seconde. C'est sur ce fantasme transhumaniste que le célèbre entrepreneur américain Elon Musk s'est fondé pour lancer, en 2016, la société Neuralink qui vise à développer des implants cérébraux pour interagir avec une machine « par la pensée ». Pour le milliardaire, la technologie numérique sera un jour à ce point imbriquée dans les méandres de notre cerveau qu'il sera possible de piloter les objets connectés juste en se concentrant. Mais quatre ans après les premières annonces, force est de constater que tout cela reste de la science-fiction. Fin août, Neuralink a présenté la deuxième version de son implant cérébral porté… par des cochons. Le dispositif reste loin des performances déjà permises par la stimulation cérébrale profonde — pour traiter des maladies comme

NICOLAS ANTILLE

Le Human Brain Project, qui vise à simuler le fonctionnement du cerveau humain grâce à un superordinateur, laisse entrevoir la possibilité, un jour, de marier à l'envi circuits neuronaux biologiques et artificiels (illustration).

Parkinson ou l'épilepsie — ou les interfaces cerveau-machine — pour contrôler des prothèses ! Mais la technologie est bien nouvelle : une puce de 23 mm de diamètre pour 8 mm d'épaisseur qui déploie 1024 électrodes de 5 micromètres à la surface corticale. Sans fil ni batterie externe, ce dispositif simple se recharge par induction et l'activité neuronale, captée par les électrodes, est transférée sur smartphone ou ordinateur. Un premier pas mais pas encore de quoi *« réaliser la symbiose du cerveau avec l'IA »*, selon le vœu d'Elon Musk.

En miroir, Oshiorenoya Agabi rêve, lui, d'une IA fabriquée avec de vrais neurones. Docteur en neurosciences, le Nigérian est P-DG de Koniku, une société de la Silicon Valley qui fabrique des puces informatiques en remplaçant le silicium… par des neurones. Cet été, Koniku a présenté, en collaboration avec l'européen Airbus, un « nez électronique », constitué de neurones olfactifs de mammifères génétiquement programmés pour déclencher une alarme en présence d'explosifs. Pour l'entrepreneur, fabriquer des circuits informatiques avec des cellules biologiques vise surtout une économie d'énergie pour des machines toujours plus puissantes et donc consommatrices tel le Human Brain Project européen, qui vise à simuler le fonctionnement du cerveau sur un super-ordinateur.

KONIKU

Ce « nez électronique » de Koniku est constitué de neurones olfactifs reprogrammés génétiquement pour réagir en présence d'explosifs.

Est-ce un premier pas vers une IA dotée de conscience ? Ou vers une conscience téléchargée ? Tel était en tout cas le projet sulfureux de la start-up californienne Nectome issue du Massachusetts Institute of Technology (MIT). Entre 2016 et 2018, elle a communiqué sur une technique de conservation du cerveau permettant d'en reconstituer la personnalité… dans un autre corps ou un superordinateur ! Le projet a fini par faire scandale, conduisant le MIT à s'en retirer, avant qu'ait été apportée la preuve de sa faisabilité. La France, elle, s'est d'ailleurs dotée en décembre 2019 d'un comité pilote d'éthique du numérique, en charge de l'intelligence artificielle. ■ **H. J.** @HugoJaliniere

POUR EN SAVOIR PLUS

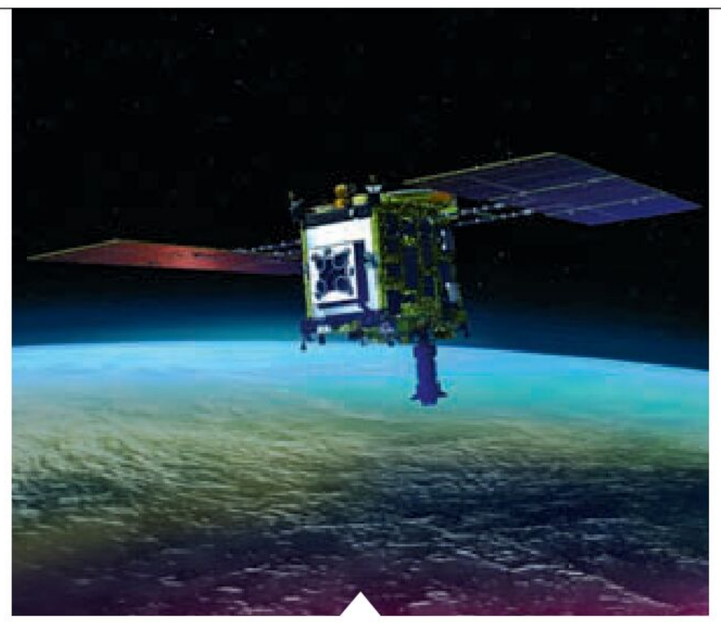
- Intelligence artificielle et intelligence naturelle — vers l'IA bio-inspirée: une conférence de Simon Thorpe au Collège de France : **sciav.fr/886Thorpe**
- Comment le cerveau apprend: une conférence d'Alain Prochiantz au Collège de France : **sciav.fr/886Prochiantz**
- Contrôler un ordinateur par l'activité cérébrale : mythe ou réalité ? Conférence de Fabien Lotte, chercheur à Inria : **sciav.fr/886Lotte**
- **L'intelligence artificielle en 50 questions**, *Sciences et Avenir*, hors-série n° 199, septembre 2019.

Astéroïdes : les nouvelles frontières de la connaissance

C'est une première ! Une sonde japonaise doit rapporter sur Terre début décembre des échantillons d'un astéroïde riche en carbone et molécules organiques. Objectif : mieux comprendre, à travers ces mystérieux corps célestes, l'origine des planètes.

Par Franck Daninos @fdaninos

Après avoir quitté notre planète en 2014 et parcouru 5,24 milliards de kilomètres dans l'espace, la sonde japonaise Hayabusa-2 est de retour ! Le 6 décembre, elle revient dans l'atmosphère terrestre pour y larguer une capsule chargée d'une précieuse cargaison : plus ou moins un gramme de poussières extraterrestres selon les estimations. Mais cette pincée a une valeur inestimable pour les scientifiques. Elle a en effet été grappillée, en 2019, à la surface de l'astéroïde Ryugu, un objet rocheux de 900 mètres de diamètre qui vagabonde à plusieurs centaines de millions de kilomètres de la Terre. *« C'est la première fois que des échantillons d'astéroïde carboné sont rapatriés sur notre planète »*, s'enthousiasme Patrick Michel, chercheur à l'observatoire de la Côte-d'Azur qui participe à la mission Hayabusa-2. Or les éléments qu'ils recèlent sont censés être les plus primitifs du système solaire, âgés de 4,5 milliards d'années et préexistants à la Terre comme à toutes les autres planètes. *« Ils pourraient également contenir d'infimes grains de matière plus vieux que le Soleil lui-même, projetés par d'anciennes étoiles voisines qui ont explosé »*, détaille l'astrophysicien. La capsule atterrira dans une zone désertique du sud de l'Australie, avant d'être transférée au Japon. Les échantillons seront alors analysés par une quarantaine de spécialistes internationaux.



JAXA

Hayabusa-2 est attendue le 6 décembre avec… 1 g de poussières de l'astéroïde Ryugu.

« Outre les propriétés physiques et minéralogiques, nous analyserons les composés organiques, gaz rares et éléments volatils comme l'eau, le carbone, l'azote ou le néon », explique Bernard Marty, du Centre de recherches pétrographiques et géochimiques de Nancy, qui ne cache pas son impatience de s'envoler vers le Japon au début de l'année 2021.

Les astéroïdes sont devenus l'un des principaux objectifs des agences spatiales après Mars et la Lune. Une dizaine de missions est programmée dans les années 2020 : exploration de différents types d'astéroïdes, nouveaux retours d'échantillons, inventaire et test de déviation des corps potentiellement dangereux… *« Cette ruée nous permettra de fournir des réponses aux nombreuses questions que l'on se pose sur ces objets fascinants et encore très mystérieux qui peuplent le système solaire »*, assure Patrick Michel. En voici un petit tour d'horizon. ■

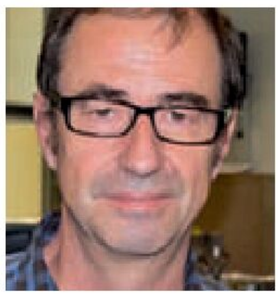
Combien d'astéroïdes dénombre-t-on dans le système solaire ?

On appelle astéroïdes tous les corps rocheux du système solaire qui ne sont pas assez massifs pour être qualifiés de planètes — telles Mars ou la Terre — ou de planètes naines — comme Pluton. Ils ne possèdent pas, par conséquent, une géométrie sphérique mais plutôt une variété de formes : patatoïde, bonhomme de neige, toupie, etc. Ils se distinguent des comètes qui, elles, évoluent sur des trajectoires très excentriques et sont composées de 30 à 50 % d'eau. Les astéroïdes, beaucoup plus nombreux que ces dernières, gravitent quant à eux sur des orbites quasi circulaires et ne contiendraient que de 0,1 à 20 % d'eau. Ils sont regroupés dans la ceinture dite principale, entre Mars et Jupiter. Mais certains, appelés « troyens », partagent l'orbite de Jupiter, tandis que d'autres croisent les trajectoires des planètes telluriques. *« Si près de 900 000 astéroïdes ont été détectés à ce jour — l'écrasante majorité dans la ceinture principale —, on n'a aucune idée de leur nombre exact »*, indique Francis Rocard, responsable des programmes d'exploration du système solaire au Cnes (Centre national des études spatiales).

ANDRZEJ WOJCICKI / GETTY IMAGES

Que peuvent-ils nous apprendre sur l'origine des planètes ?

Les astéroïdes ont commencé à se former il y a 4,5 milliards d'années à la suite de la condensation du nuage de poussières et de gaz de la nébuleuse solaire primordiale. Des objets de plus en plus volumineux se seraient alors agglomérés par accrétion de matière pour donner naissance aux « planétésimaux », des embryons de planètes. Certains ont continué à grossir par le jeu des interactions gravitationnelles et des collisions successives jusqu'à former les planètes, les planètes naines et les lunes que nous connaissons. Mais une partie n'a pas été capturée, laissant dans l'espace des myriades de débris rocheux. *« Les astéroïdes sont donc à la fois les reliques de la composition primitive du système solaire et des sortes de planètes avortées*, indique Bernard Marty. *Ils témoignent d'une*



UNIVERSITÉ DE LORRAINE

« Les astéroïdes sont des reliques de la composition primitive du système solaire et des sortes de planètes avortées »

Bernard Marty, Centre de recherches pétrographiques et géochimiques de Nancy

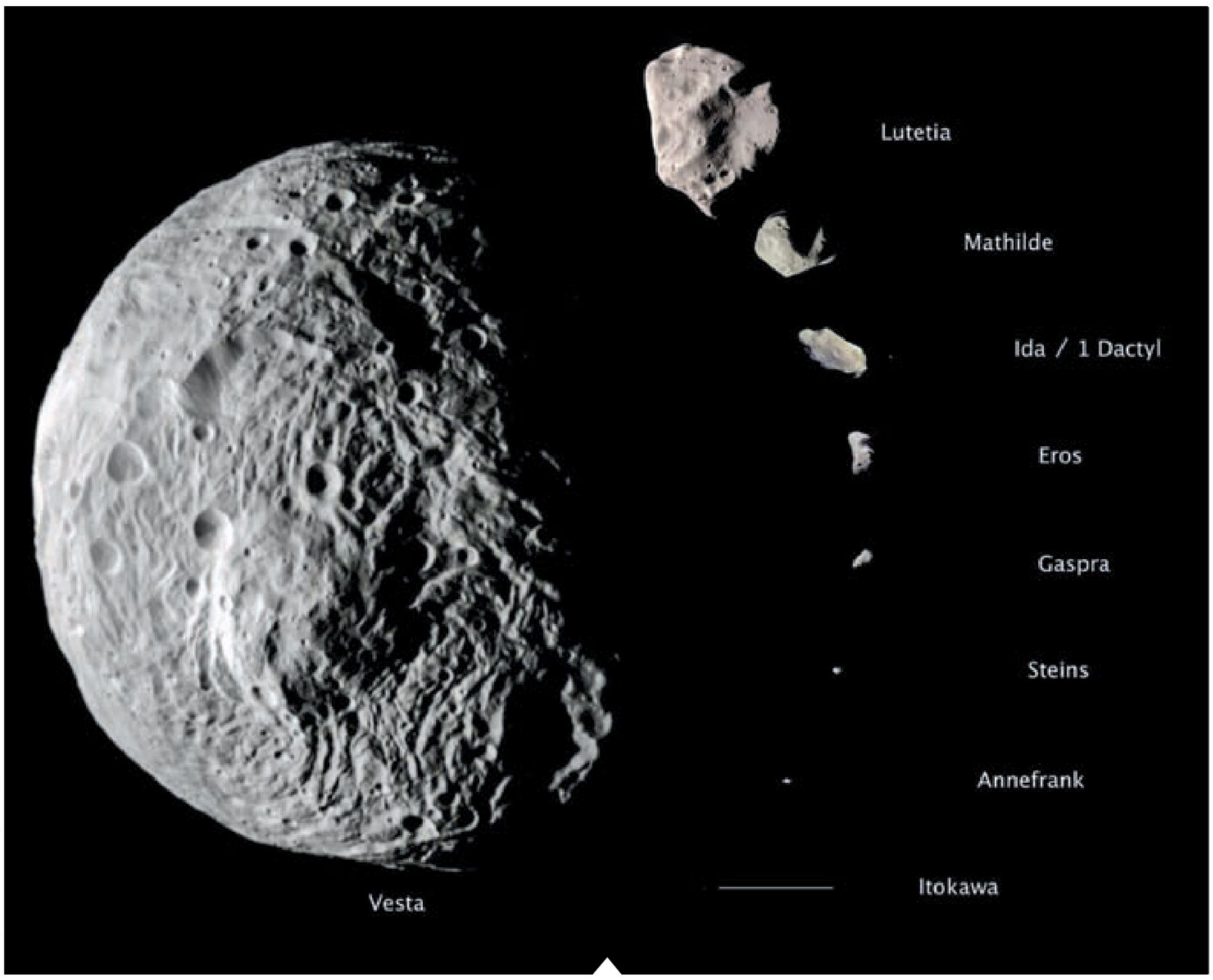
étape entre les premières planètes disparues et dispersées par les chocs et les produits finaux tels que Mars, la Terre ou Vénus. » En étudiant leur composition et en retraçant leur lieu d'origine, les scientifiques espèrent ainsi mieux comprendre par quels processus et avec quels matériaux de base les corps du système solaire ont été fabriqués.

Ont-ils apporté sur Terre les briques élémentaires du vivant ?

Le débat est ancien et connaît régulièrement des rebondissements avec de nouvelles thèses qui se contredisent. « *Il s'agit en gros de savoir si l'eau et les molécules qui auraient permis à la vie d'émerger sont issues principalement de notre planète ou d'objets venus de l'espace qui l'auraient bombardée après sa formation* », explique Francis Rocard. Pour la seconde hypothèse, les astéroïdes carbonés comme Ryugu sont de sérieux candidats. Majoritaires dans la ceinture principale, ils seraient en effet particulièrement riches en eau et en composés organiques et auraient très bien pu apporter ces briques fondamentales. Certains s'écrasent d'ailleurs encore régulièrement sur notre planète : ce sont les météorites ou (chondrites) dites carbonées, comme celle de Murchison tombée en 1969 en Australie. Or on a retrouvé, dans cette dernière, des sucres, des acides aminés et même des bases azotées précurseurs des molécules d'ARN et d'ADN. Ces météorites sont toutefois particulièrement friables et se désintègrent en grande partie dans l'atmosphère terrestre. « *Des échantillons recueillis directement dans l'espace nous fourniront ainsi des informations beaucoup plus riches et fidèles, avec sans doute des découvertes majeures* », espère Bernard Marty. De tels matériaux seront donc rapatriés le 6 décembre par la mission Hayabusa-2, mais également en 2023 par la sonde américaine Osiris-Rex. Elle ramènera elle aussi des échantillons d'un astéroïde carboné, dénommé Bénou (ou Bennu, en anglais), en quantité beaucoup plus importante cette fois (*lire aussi p. 9*).

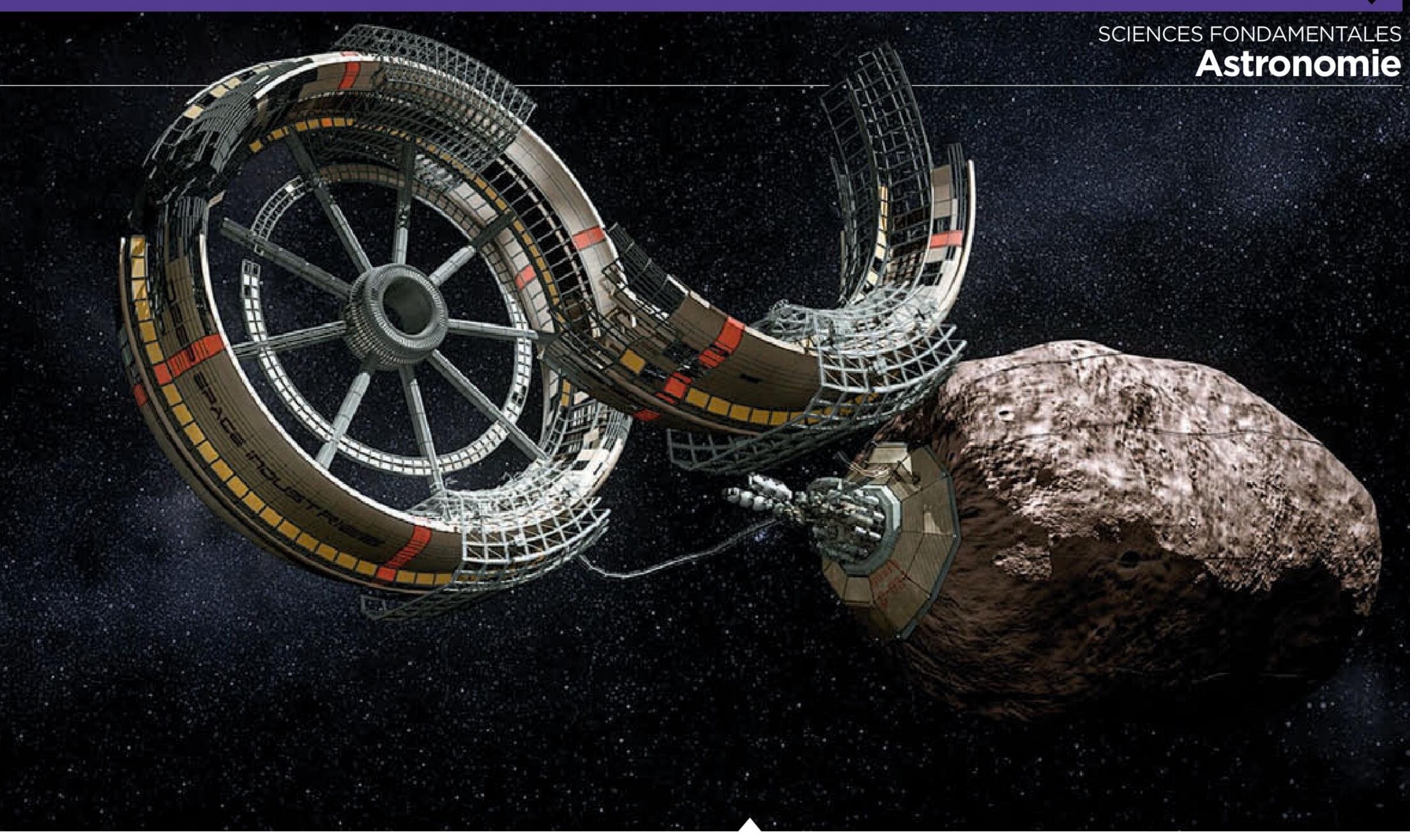
Certains astéroïdes nous menacent-ils ?

La Nasa a entrepris d'inventorier, en 1998, tous les astéroïdes de plus d'un kilomètre de diamètre susceptibles de percuter un jour notre planète et provoquer un cataclysme global. « *Près d'un millier ont été identifiés et ce travail est quasi terminé*, indique Francis Rocard. *Et fort heureusement, aucun de ces monstres célestes ne menace la Terre dans son ensemble !* » L'attention se concentre donc désormais sur les géocroiseurs de plus de 140 mètres de large, ce seuil étant celui d'une catastrophe régionale. Seuls 30 % ont été repérés pour le moment, leur nombre étant estimé à une vingtaine de milliers. Il faudrait probablement quarante années de recherches actives pour terminer l'inventaire. Mais le Congrès américain devrait bientôt financer la mission Near Earth Object Surveillance qui pourrait le faire en seulement dix ans. Elle consiste à mettre en orbite, en 2025, un télescope spatial autour de Vénus, afin d'identifier tous les objets potentiellement dangereux pour (au moins) les cent années à venir. « *Si un risque se concrétisait, il faudrait alors tout faire pour dévier l'astre menaçant* », souligne Marcello Coradini, ancien coordinateur des programmes spatiaux de l'ESA, l'agence spatiale européenne et fondateur de la société chypriote Space Systems Solutions. L'une des stratégies consiste à utiliser un « impacteur » pour



NASA/JPL-CALTECH/JAXA/ESA

La famille des astéroïdes regroupe des corps célestes rocheux de plusieurs centaines de kilomètres de diamètre comme Vesta (530 km) à moins de 1 km, tel Itokawa, étudié par la 1re mission Hayabusa en 2003.



L'exploitation potentielle des métaux des astéroïdes, si elle suscite force convoitises, pose d'immenses défis technologiques (vue d'artiste).

BRYAN VERSTEEG

modifier la trajectoire du géocroiseur. Elle sera testée pour la première fois par la mission américaine Dart : un engin de 550 kg sera lancé en juillet 2021 vers l'astéroïde Didymos, et notamment sa petite « lune » Dimorphos, située à 11 millions de kilomètres de la Terre et mesurant 170 mètres de large. Un second volet, la mission européenne Hera, partira ensuite en 2024 pour mesurer la taille du cratère et étudier au plus près les effets de l'impact.

Pourra-t-on exploiter les ressources qu'ils contiennent ?

Platine, or, cuivre, titane, scandium ou yttrium et autres « terres rares » indispensables pour fabriquer les smartphones et batteries des véhicules électriques… Tous ces précieux métaux seraient présents en quantité dans certains astéroïdes, sans compter l'eau qu'ils contiennent et qui pourrait être utilisée pour des missions habitées, vers Mars notamment. De quoi aiguiser l'appétit de nombreuses start-up — surtout américaines — qui rêvent d'exploiter les ressources des astéroïdes alors que les prix de certains métaux (comme le cuivre) s'envolent. « *Une perspective aguichante… qui reste soumise à de nombreuses difficultés et inconnues* », tempère Francis Rocard. Il s'agirait, tout d'abord, d'apprendre à identifier les « perles rares » — les corps contenant les minerais les plus précieux — et mieux appréhender la formation des astéroïdes riches en métaux. C'est l'objectif de la mission Psyche de la Nasa. Elle sera lancée en 2022 pour « ausculter » l'astéroïde éponyme : large de 250 km, il représenterait le noyau métallique d'une protoplanète dont les couches externes auraient été arrachées suite à une violente collision.

« *L'exploitation pose elle aussi d'immenses défis technologiques* », souligne Marcello Coradini. Ils concernent, en premier lieu, l'installation d'une foreuse sur une surface dont on ne connaît pas les propriétés mécaniques, mais aussi la source d'énergie qui alimenterait de telles machines. La Nasa travaille pour cela sur des mini-centrales nucléaires au plutonium qui en dépit de leur taille fournirait plusieurs mégawattheures d'énergie. « *De nouveaux types de systèmes de refroidissement devront en outre être développés* », précise Marcello Coradini, qui se veut néanmoins confiant. « *Les investissements et programmes de recherche se mettent en place et je suis persuadé que nous disposerons des technologies nécessaires à la fin de ce siècle* », avance ainsi le spécialiste. ■

CNES

« Près d'un millier d'astéroïdes de plus de 1 km ont été identifiés. Et, aucun ne menace la Terre dans son ensemble »

Francis Rocard, responsable des programmes d'exploration du système solaires au Cnes

Voyage au bout des galaxies

Voici la carte la plus complète de l'Univers à ce jour. Elle permet de déterminer les paramètres cosmologiques et ouvre de nouvelles perspectives pour comprendre l'expansion de l'Univers.

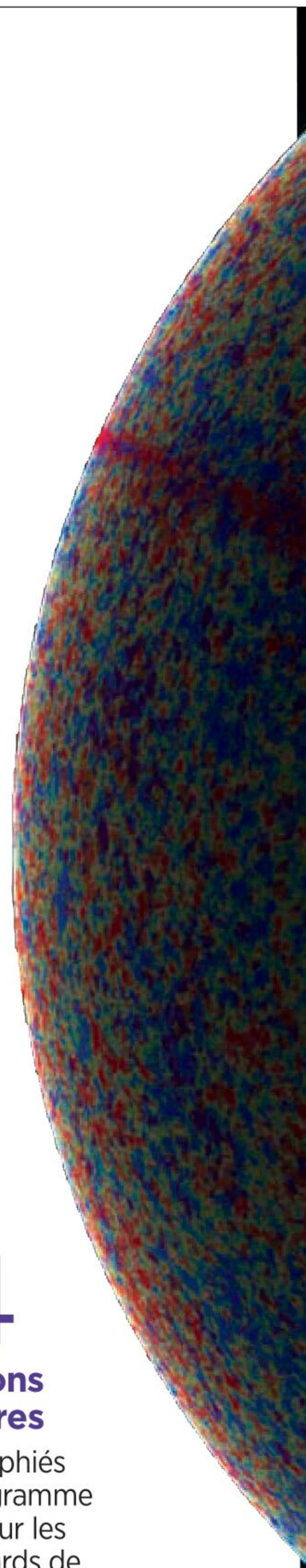
IL A FALLU VINGT ANS et des milliers de nuits blanches avant qu'une centaine de spécialistes à travers le monde parviennent à accumuler suffisamment de données pour que notre regard puisse désormais embrasser... 90 % du volume de l'Univers visible. Soit la plus grande cartographie 3D de l'Univers jamais réalisée et dévoilée voilà quelques semaines. Elle s'étend aux objets les plus distants du ciel, ceux situés à 11 milliards d'années-lumière de nous. Autrement dit, l'éclat de ces astres lointains est parvenu aux observatoires terrestres au terme d'un voyage de plus de 11 milliards d'années. Déjà, elle a permis de confirmer rien de moins que l'existence de l'énergie noire, cet énigmatique ingrédient qui dilate l'espace de plus en plus vite et après lequel les astronomes couraient depuis des décennies. Surtout, elle laisse entrevoir une solution inédite à l'énigme cosmologique de l'expansion.

L'histoire de cette carte commence en 2000, lorsqu'est lancé le projet international SDSS (Sloan Digital Sky Survey), un vaste relevé d'objets célestes en grande partie financé par la fondation Alfred Sloan, créée par l'ancien président de General Motors. Le programme utilise le télescope de 2,5 m de diamètre à l'observatoire d'Apache Point au Nouveau-Mexique (États-Unis). Ce travail de longue haleine comprend plusieurs volets, dont l'un, nommé eBOSS (Extended Baryonic Oscillation Spectroscopic Survey), vient de fournir la précieuse carte. *« En tout, y figurent 4 millions de galaxies et de quasars — ces trous noirs supermassifs qui constituent le noyau des galaxies distantes*, explique Jean-Paul Kneib, de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) en Suisse, qui a lancé et codirigé le programme eBOSS. *C'est énorme ! même si nous sommes très loin des quelque 200 milliards de galaxies de l'Univers visible.* »

En commençant par la banlieue de la Voie lactée

Mais l'originalité de cette carte est de montrer la distribution de la plupart des galaxies tout au long de l'histoire de l'Univers. Car rappelons qu'en astronomie, *« voir loin, c'est voir vieux »*, autrement dit observer la prime enfance de l'Univers. En effet, la lumière arpentant l'espace-temps à la vitesse fulgurante de 300 000 km/s, plus son temps de parcours est élevé, plus elle témoigne d'un Univers jeune. C'est ainsi qu'à la distance de 13,7 milliards d'années-lumière, les satellites cosmologiques comme l'européen Planck, ont capté le « rayonnement fossile », la première lumière émise lorsque le Cosmos était âgé d'à peine 380 000 ans. Mais le télescope Sloan n'avait permis d'observer et de cartographier l'Univers « que » jusqu'à 6 milliards d'années-lumière. *« Nous venons de faire un pas de géant en comblant la tranche entre 6 et 11 milliards d'années-lumière »*, se réjouit Jean-Paul Kneib.

Obtenir une telle carte recensant quatre millions de positions n'a, bien sûr, pas été facile. *« Il a fallu choisir la population d'astres à observer à chaque distance*, explique Solène Chabanier, de l'Irfu (Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers) au CEA, qui a réalisé une partie des mesures. *En commençant par la banlieue de la Voie Lactée puis, jusqu'à des distances de 6 milliards d'années-lumière, en ciblant les galaxies qui ont une faible activité de formation d'étoiles, et enfin, au sein d'un Univers plus jeune, les galaxies formant beaucoup d'étoiles. » « Au-delà, jusqu'aux environs de 10 mil-*



ANAND RAICHOOR (EPFL), ASHLEY ROSS (OHIO STATE UNIVERSITY) AND THE SDSS COLLABORATION

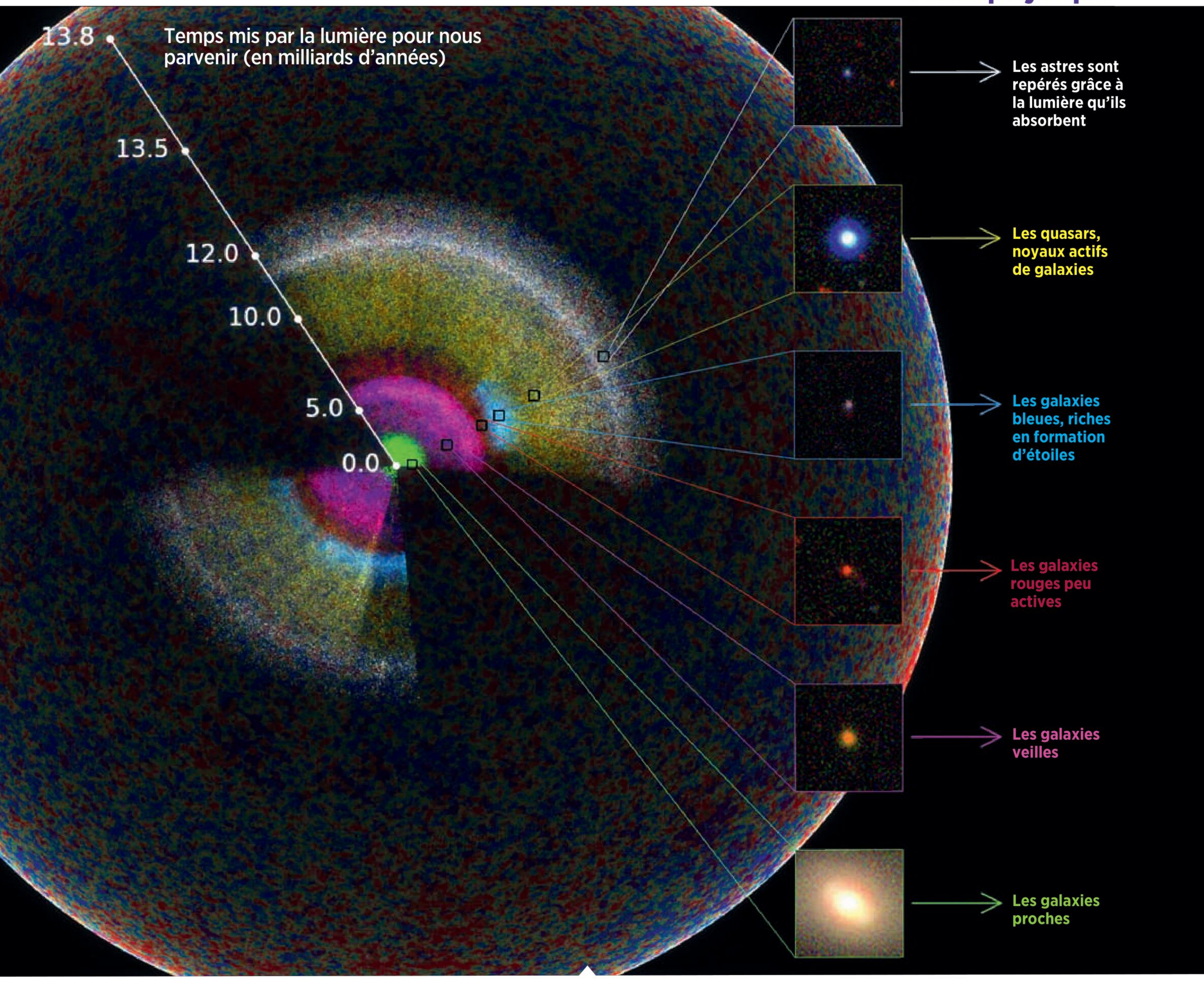
4
millions d'astres
cartographiés par le programme eBOSS sur les 200 milliards de galaxies que compte l'Univers visible.

40
millions d'astres
cartographiés d'ici à 2025, c'est l'ambition du programme DESI, suite du programme d'eBOSS.

EPFL

« Nous venons de faire un pas de géant en comblant la tranche entre 6 et 11 milliards d'années-lumière »

Jean-Paul Kneib, de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (Suisse), à l'initiative du programme eBOSS, l'un des volets du programme de carte du ciel SDSS



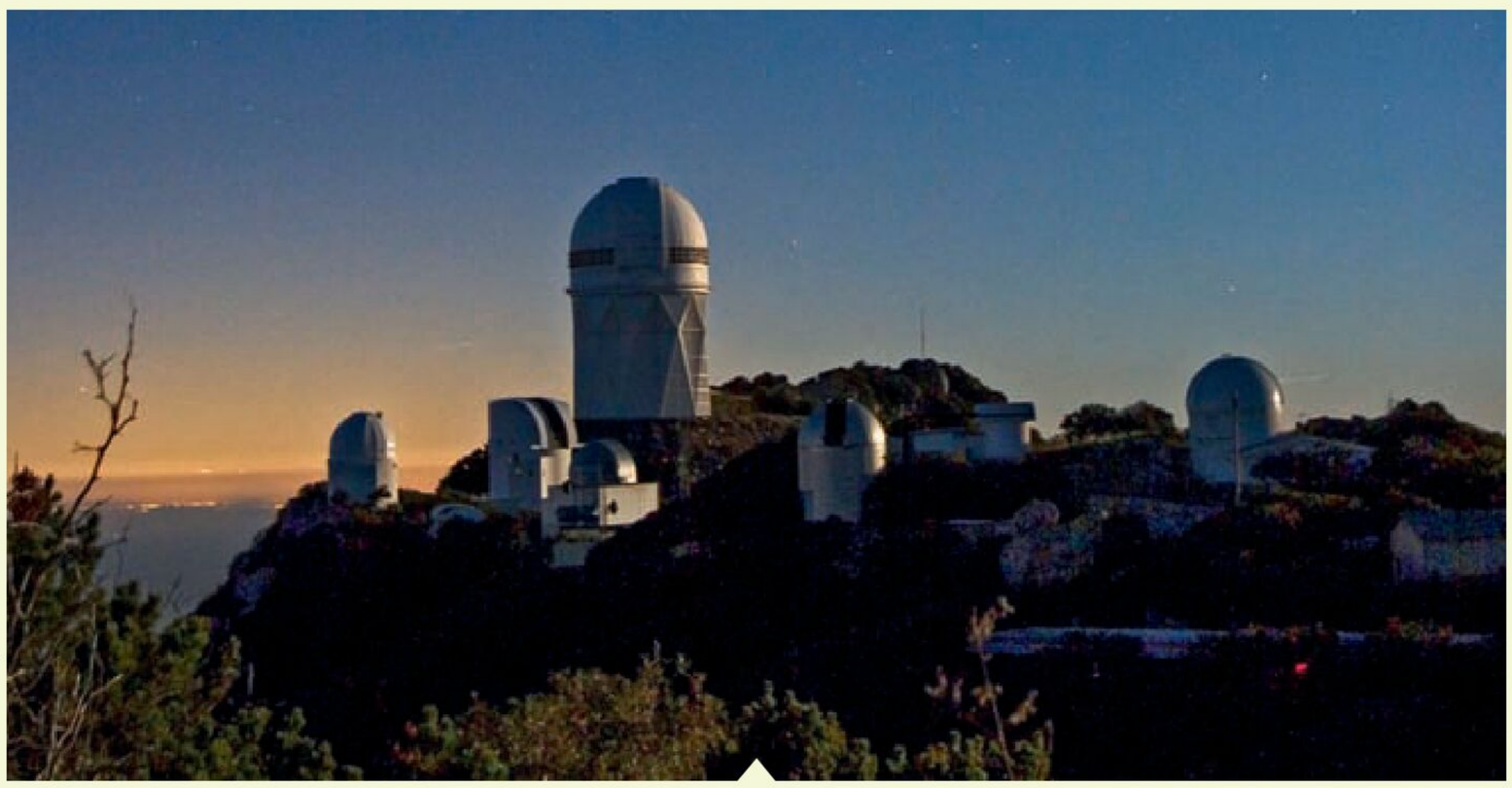
L'originalité de cette carte tient à ce qu'elle montre des astres depuis les débuts de l'Univers et tout au long de son histoire. La lumière des plus lointains a mis 11 milliards d'années à nous parvenir (centre de la sphère). Au loin, la première lumière de l'Univers (que l'on devine à la surface de la sphère) a voyagé pendant 13,8 milliards d'années.

liards d'années-lumière ce sont les quasars qui ont été repérés, ces trous noirs supermassifs qui forment des noyaux de galaxies dont la matière environnante émet beaucoup de lumière, précise l'astrophysicienne. *Enfin, pour étendre notre prospection encore plus loin, nous avons détecté la lumière absorbée par les astres de ces régions. Cette lumière nous vient de quelques autres quasars encore plus lointains qui agissent comme des projecteurs dont le faisceau se trouve en partie absorbé. Comme une image en négatif.* »

Et le décryptage de cette carte commence à livrer quelques-uns des secrets les mieux gardés du cosmos ! « *Aujourd'hui, les étoiles et galaxies que nous observons ne représentent que 5 % de l'Univers, 25 % de son contenu étant sous forme de matière noire invisible, que nous recherchons toujours, et 70 % sous forme d'énergie noire* », explique Pauline Zarrouk, chargée de recherche au CNRS-LPNHE (Laboratoire de physique nucléaire et des hautes énergies). Ces ingrédients n'agissent pas de la même manière : la matière — visible ou invisible — rassemble les masses sous l'effet de la gravité, tandis que l'énergie noire dilate l'espace en éloignant les astres les uns des autres. « *Et comme l'Univers continue à se refroidir au cours du temps, l'un des ingrédients prend le dessus à chaque époque* »,

SPECTROSCOPE

Prochain objectif : capter la lumière de 40 millions d'astres



B.A.TAFRESHI / LEEMAGE

Le nouvel instrument DESI est installé à l'observatoire de Kitt Peak, en Arizona (États-Unis).

C'est un instrument hors du commun qui s'inscrit dans la continuité directe d'eBOSS *(lire l'article ci-contre)*. Fruit d'une collaboration de près de 500 chercheurs appartenant à 75 institutions différentes, DESI (Dark Energy Spectroscopic Instrument) est installé à l'observatoire national Kitt Peak en Arizona (États-Unis). La France y est très impliquée avec le CEA, le CNRS et l'université d'Aix-Marseille ainsi que la société Winlight System à Pertuis (Vaucluse). Son objectif est de capter la lumière de 40 millions d'astres, soit dix fois plus que la carte 3D la plus dense existante aujourd'hui. Et cela grâce à des performances démultipliées : 5000 astres pourront être cartographiés en 15 minutes au lieu de 1000 en 1 h 30 pour son prédécesseur SDSS. Fin octobre 2019, DESI a obtenu une première image, puis, crise sanitaire oblige, ses observations ont été arrêtées. Son redémarrage est prévu au printemps 2021 pour une durée de cinq ans.

précise-t-elle. C'est ce bras de fer qui détermine ce que les chercheurs nomment les « paramètres cosmologiques » à chaque âge de l'Univers. « *Avec eBOSS, nous sommes parvenus à en déterminer certains avec une précision de quelques centièmes* », précise Jean-Paul Kneib. En outre, « *nos observations confirment l'existence de l'énergie noire*, renchérit Pauline Zarrouk. *Elles montrent aussi qu'il y a 6 milliards d'années, l'énergie noire a gagné la bataille et commencé à dominer l'attraction exercée par la matière* ».

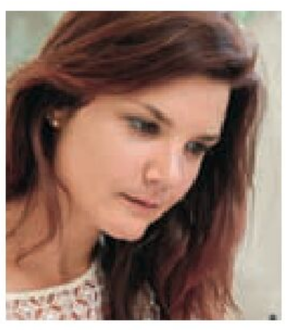
Depuis, l'énigmatique ingrédient dilate l'espace de plus en plus vite. À quel rythme ? La valeur de ce taux d'expansion aujourd'hui (H0) est la question qui fait débat chez les cosmologistes. La mission européenne Planck, au terme de huit années d'observation, a établi que chaque portion de l'espace ayant la taille de 1 mégaparsec (Mpc), soit (3,26 millions d'années-lumière), se dilate de nos jours à un rythme de 67,4 km/s... soit 67,4 km/s/Mpc. Or, d'autres équipes, en observant les astres proches, sont parvenues à une valeur autour de 73 km/s/Mpc. Ce désaccord est devenu « la tension cosmologique » du moment, car c'est notamment grâce à cette valeur que l'âge de l'Univers est calculé, d'où une inacceptable variation de plus d'un milliard d'années. « *Nos résultats sont conformes à ceux de Planck !* », affirme Jean-Paul Kneib. Soit 67,4 km/s/Mpc.

Un nouveau mystère vieux de 2 ou 3 milliards d'années

Mais d'ores et déjà la carte d'eBOSS soulève une nouvelle énigme ! « *Elle nous indique qu'il s'est passé quelque chose que nous ne comprenons pas il y a 2 ou 3 milliards d'années,* explique Pauline Zarrouk. *Cela pourrait venir du fait que la nature de l'énergie noire nous échappe encore ou que l'Univers primitif cache encore des surprises.* »

En attendant une explication possible de cette « tension cosmologique », peut-être devrait-on se pencher sur la particularité de notre univers local. Il présenterait en effet un taux d'expansion plus important. « *Nous serions au sein d'une région peu dense, et ce déficit local en masse favoriserait localement la dilatation* », estime Jean-Paul Kneib. Pour le savoir, il faudra bien plus que 4 millions d'astres cartographiés. Ce sera l'affaire du DESI, le nouveau projet de cartographie de l'Univers, dès le printemps 2021 *(lire ci-dessus)*. ■

Azar Khalatbari



CARL DINER

« Nos observations montrent qu'il y a 6 milliards d'années, l'énergie noire a gagné la bataille »

Pauline Zarrouk, chargée de recherche au Laboratoire de physique nucléaire et des hautes énergies (CNRS)

Inserm
La science pour la santé
From science to health

cité sciences et industrie

CYCLE DE CONFÉRENCES

Santé en questions

En distanciel

Jeudi 3 décembre 2020
de 19 h à 20 h 30 à Paris
et 18 h à 19 h 30 à Abidjan

Changement climatique : quel impact sur la diffusion des maladies infectieuses ?

Le climat saisonnier joue un rôle dans la survenue de certaines maladies comme la grippe, les rhumes, les allergies... Ces dernières décennies, les fortes variations météorologiques liées au changement climatique bouleversent la biodiversité et les écosystèmes. Le changement climatique pourrait également provoquer la diffusion des maladies infectieuses transmises par les moustiques tels que la dengue, le chikungunya et le virus du Zika.

Quels liens entre changement climatiques et santé humaine ? Comment les anticiper et mettre en place des politiques de santé publique adaptées ?

En direct sur la chaîne YouTube de la Cité des sciences et de l'industrie
En duplex avec l'Institut français de Côte d'Ivoire
Av. Franchet d'Esperey - Prés de la Pyramide, Abidjan Plateau

INTERVENANTS

- **Éric d'Ortenzio**
Médecin de santé publique à l'Inserm, coordinateur du consortium REACTing

- **Jean-François Guégan**
Directeur de recherche à INRAE, département Santé animale

- **Brama Koné**
Enseignant-chercheur sur les eaux, l'hygiène, l'assainissement et la santé publique à l'université de Korhogo et au Centre suisse de recherches scientifiques en Côte d'Ivoire (CSRS), sous-directeur au ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche scientifique, Côte d'Ivoire

- **Vincent Leblan**
Anthropologue à l'IRD, unité de recherche Patrimoines locaux, environnement et globalisation, université Félix-Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Débat animé par Eli Flory
inserm.fr et cite-sciences.fr

La Recherche · Sciences et Avenir · The Conversation · casden · IRD Institut de Recherche pour le Développement France · Institut Français Côte d'Ivoire

Enfin des supraconducteurs à température ambiante ?

Des chercheurs auraient conçu un matériau conduisant le courant électrique sans aucune résistance et fonctionnant à 15 °C. Une annonce portentiellement révolutionnaire.

UN THÉORICIEN A DONNÉ L'IMPULSION

Le Britannique Neil Ashcroft a prédit, au début des années 2000, que des composés ultra-enrichis en hydrogène devenaient supraconducteurs à des températures inouïes si on les comprimait suffisamment.

DES MÂCHOIRES EN DIAMANT

Pour soumettre les matériaux à des pressions semblables à celles qui s'exercent au centre de la Terre, les physiciens les compriment entre les mâchoires de machines appelées « cellules à enclumes de diamant ».

DE LOINTAINES APPLICATIONS

Ces supraconducteurs ne pourront être largement utilisés, dans des smartphones ou des ordinateurs portables par exemple, que s'ils fonctionnent aux pressions ambiantes. Pour cela, il faudra trouver des formes « métastables » : un peu comme le diamant qui, formé dans le manteau terrestre, conserve ses propriétés dans les conditions qui règnent en surface.

J. ADAM FENSTER/UNIVERSITY OF ROCHESTER

Cet aimant supraconducteur est refroidi par de l'azote liquide. L'enjeu de la recherche est désormais de s'affranchir des très basses températures.

UN MATÉRIAU aux propriétés extraordinaires a été présenté, dans la revue *Nature*, par des physiciens de l'université de Rochester (État de New York, États-Unis). Il repousse les champs magnétiques qui le traversent et propage le courant électrique sans aucune résistance ni perte d'énergie... Le tout à une température d'environ 15 °C, celle qui règne, en moyenne, à la surface de la Terre. Si ces résultats sont confirmés, ils constitueront une étape historique pour les matériaux dits supraconducteurs, domaine de recherche déjà récompensé par plusieurs prix Nobel. Car ces matériaux, découverts il y a plus d'un siècle, fonctionnent en général à des températures proches du zéro absolu (-273,15 °C), ce qui limite leur utilisation à quelques applications de niche comme l'IRM (imagerie par résonance magnétique nucléaire) ou les accélérateurs de particules.

Pour la première fois, la barrière de la température ambiante aurait donc été franchie, laissant poindre des applications révolutionnaires dans le domaine de l'électronique ou du transport de l'énergie. Pour réaliser cette prouesse, les physiciens américains ont synthétisé un matériau très enrichi en hydrogène, composé aussi de soufre et de carbone. Ils ont mélangé trois gaz (dihydrogène, sulfure d'hydrogène, méthane) et irradié le tout avec un laser sous... une pression gigantesque de 2,6 millions d'atmosphères ! Le cristal obtenu présente une conductivité électrique infinie jusqu'à une température de 14,5 °C, assurent les chercheurs. ■

Franck Daninos @fdaninos

INTERVIEW

BRIGITTE LERIDON,

CHERCHEUSE CNRS À L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE INDUSTRIELLES DE LA VILLE DE PARIS

UN RÉSULTAT À CONFIRMER

« C'est un résultat remarquable qui demande toutefois à être précisé et confirmé. Les mesures des propriétés magnétiques du matériau cristallin, qui permettent d'affirmer qu'il est bien supraconducteur, restent en effet incomplètes dans les gammes de pression les plus hautes notamment.

BRIGITTE LERIDON

Et la structure du cristal — qui définit la proportion et l'organisation tridimensionnelle des atomes — n'a pas pu, pour le moment, être caractérisée.

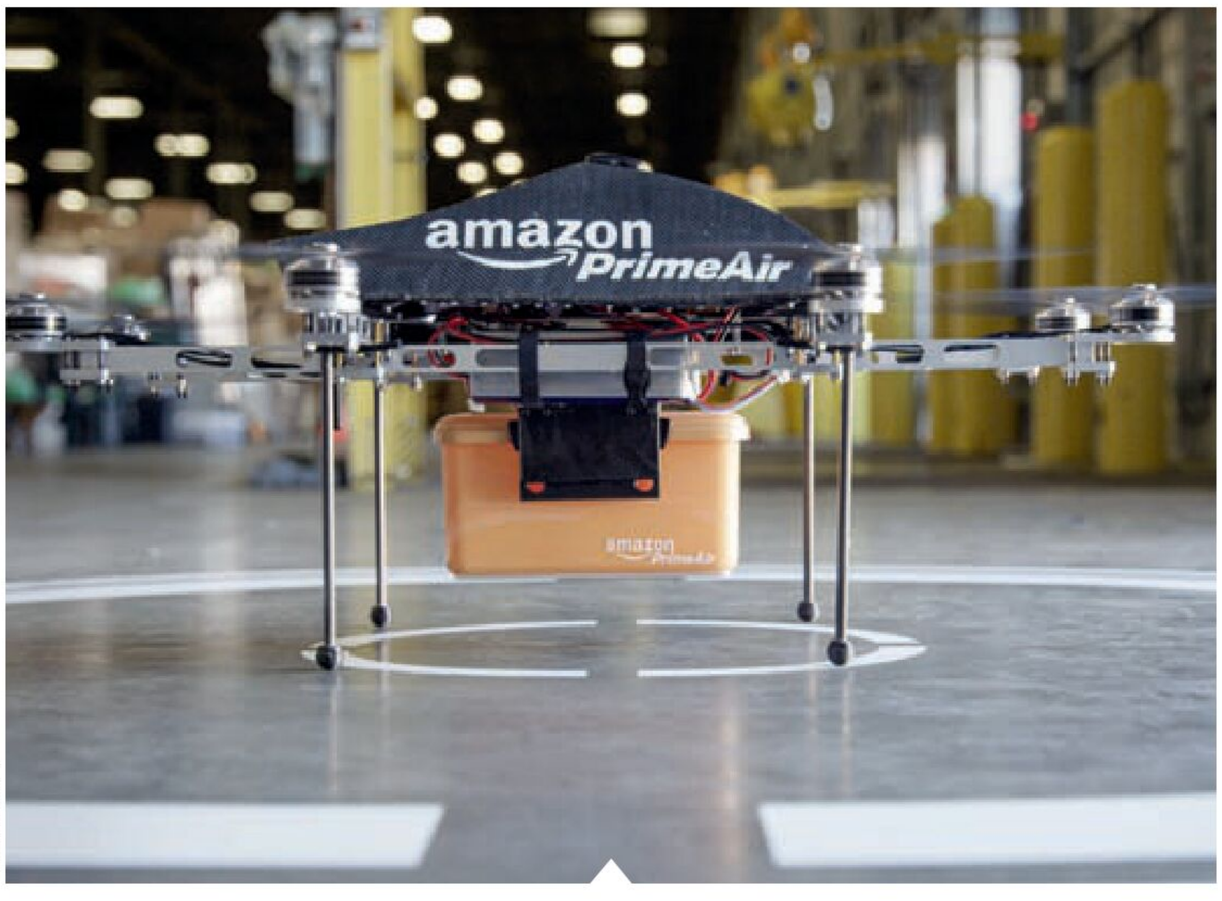
On ne sait donc pas encore, dans l'immédiat, de quel composé il s'agit ! Ces données sont certes très difficiles à obtenir à des pressions aussi extrêmes. Plusieurs équipes — outre celle de l'université de Rochester — y travaillent désormais activement. »

Quand notre resto tourne bien c'est que la situation tourne mal.

Plus que jamais, on compte sur vous.

Faites votre don
sur **restosducoeur.org**
pour faire barrière
à cette grande épidémie
de précarité.

LES RESTAURANTS DU CŒUR
LES RELAIS DU CŒUR



EPA/MAXPPP

Les drones du cybermarchand américain Amazon viennent d'obtenir un certifcat de transport aérien pour effectuer des livraisons par les airs aux États-Unis.

DARREN STAPLES/GETTY IMAGES/AFP

80 « droïdes » livrent depuis mars les habitants de Milton Keynes (Royaume-Uni) en articles d'épicerie commandés par application mobile.

Drones et robots livreurs réorganisent la ville

Les achats sur Internet combinés à la tendance générale à réduire la place de la voiture contraignent les agglomérations à repenser leurs flux dans les centres.

Chez Amazon, les livraisons changent peu à peu de visage. Pour tout dire, elles ont de moins en moins de visages. Le géant américain du commerce électronique a obtenu fin août de la Federal Aviation Administration, agence gouvernementale chargée de réglementer le trafic aérien aux États-Unis, un « certificat de transporteur aérien Part 135 ». En clair : l'autorisation de livrer des marchandises... par drone. Cela fait quelques années que la société de Jeff Bezos promet ce service, appelé PrimeAir. Dans sa dernière version, il repose sur un appareil de 25 kg à six rotors, autonome sur 25 km et capable de porter des colis de 2,3 kg maximum. Mais Amazon n'est ni le seul ni le premier : la division Wing de Google et le transporteur UPS ont également décroché de telles autorisations pour des projets pilotes. Si ces services restent embryonnaires, ils sortent désormais du registre du gadget technologique.

La logistique du dernier kilomètre à redéfinir

Nombre d'avancées techniques, dont les algorithmes de navigation autonome, rendent ces engins assez efficaces et faciles d'emploi pour commencer à toucher le grand public. C'est ainsi toute la notion de logistique du dernier kilomètre qui est en train d'être redéfinie. Car après des décennies de « tout-voiture », les villes cherchent à désengorger leurs centres, à une époque où le commerce électronique est devenu une norme, à limiter l'impact des livraisons sur la circulation et la sécurité et à réduire la pollution. Plus généralement, il s'agit de « rationaliser » la ville quand les services se multiplient, chaque nouveau prestataire amenant de nouveaux livreurs. Le tout dans un contexte où les zones piétonnes ne cessent de s'étendre, les places de stationnement se raréfient et où il faut faire une place aux VTC, vélos, trottinettes, vélo-cargos et autres gyropodes.

La pandémie de Covid-19 accélère la tendance. À North Las Vegas (États-Unis), un supermarché Walmart s'est associé à l'opérateur DroneUp pour procéder à des livraisons tests par drone. Et le géant Amazon — encore lui —, fait circuler Scout, son petit robot livreur autonome à six roues, dans les villes d'Atlanta (Géorgie) et de

SOBEN

Sidene accompagne les techniciens d'Enedis en portant leur matériel, évitant l'utilisation d'un véhicule (ici en test à Toulouse).

GUILLAUME BONNEFONT/IP3/MAXPPP

Hector, chariot automatisé, transporte courrier et petits colis. Il suit le facteur grâce à son système de capteurs (ici à Montpellier).

Franklin (Tennessee). Les rues de la cité britannique de Milton Keynes sont, elles-aussi, sillonnées depuis mars par près de 80 « droïdes » livreurs d'articles d'épicerie commandés au moyen d'une application mobile. Et pour limiter les contacts, la poste japonaise teste dans Tokyo une flotte de cinq robots-conteneurs autonomes capables de porter 50 kg de lettres et colis. En France, deux robots livreurs TwinswHeel fabriqués par Soben, une entreprise basée à Cahors (Lot), déambulent dans Montpellier. C'est l'une des 16 expérimentations de véhicules autonomes soutenues par le gouvernement. « *C'est la seule dédiée au fret*, précise le cofondateur, Benjamin Talon. *Les robots réapprovisionnent les magasins du centre-ville à partir d'un hub logistique ou portent des colis avec la Poste.* » Les engins se guident avec les mêmes technologies que les voitures sans chauffeur : lidar, caméras, ultrasons, infrarouge. Pour des raisons réglementaires, ils restent accompagnés par des *safety drivers* (opérateurs de sécurité), dont le nombre se réduira au fil de l'expérience avant qu'ils finissent par superviser à distance les robots. Mais les marchandises ne sont pas les seules concernées. Un autre robot de TwinswHeel équipe les techniciens de l'électricien Enedis à Toulouse, lors de leurs interventions, portant outils et autres compteurs Linky à installer.

Des jumeaux numériques pour tester des scénarios

Le principal avantage de ces dispositifs est que ceux-ci portent des charges lourdes à la place des opérateurs, sans équipement supplémentaire. « *Tout est sur le robot*, précise Cédric Tessier, P-DG de la société clermontoise Effidence qui fabrique EffiBot, un autre robot-porteur. *Grâce à son lidar, celui-ci scanne l'environnement à 360° sur 30 mètres et détecte la personne qui le précède à sa forme et à sa silhouette.* » EffiBot a été testé par la Poste à Paris et Rueil-Malmaison (Hauts-de-Seine) et par le logisticien allemand Deutsche Post DHL à Bad Hersfeld. Au moment de sa mise en route, il scanne la personne à suivre et enregistre sa « signature » visuelle (apparence, vitesse de déplacement, réflectivité). Ces données ne servent que le temps de la mission. En cas d'obstacle, selon les cas, le petit véhicule le contourne ou bloque les freins. « *Chaque nouvelle technologie de livraison est en fait liée à un cas d'usage*, poursuit Cédric Tessier. *Les robots sont faits pour la ville, pour des tournées de quartier, quand les drones ont plus de sens en milieu rural.* »

Ces innovations n'en sont cependant qu'à leurs débuts. « *Contrairement aux usines où l'environnement évolue peu, en ville, tout bouge tout le temps*, rappelle Benjamin Talon. *La météo est changeante, il y a des travaux dans les rues, des enfants, des personnes âgées... La*

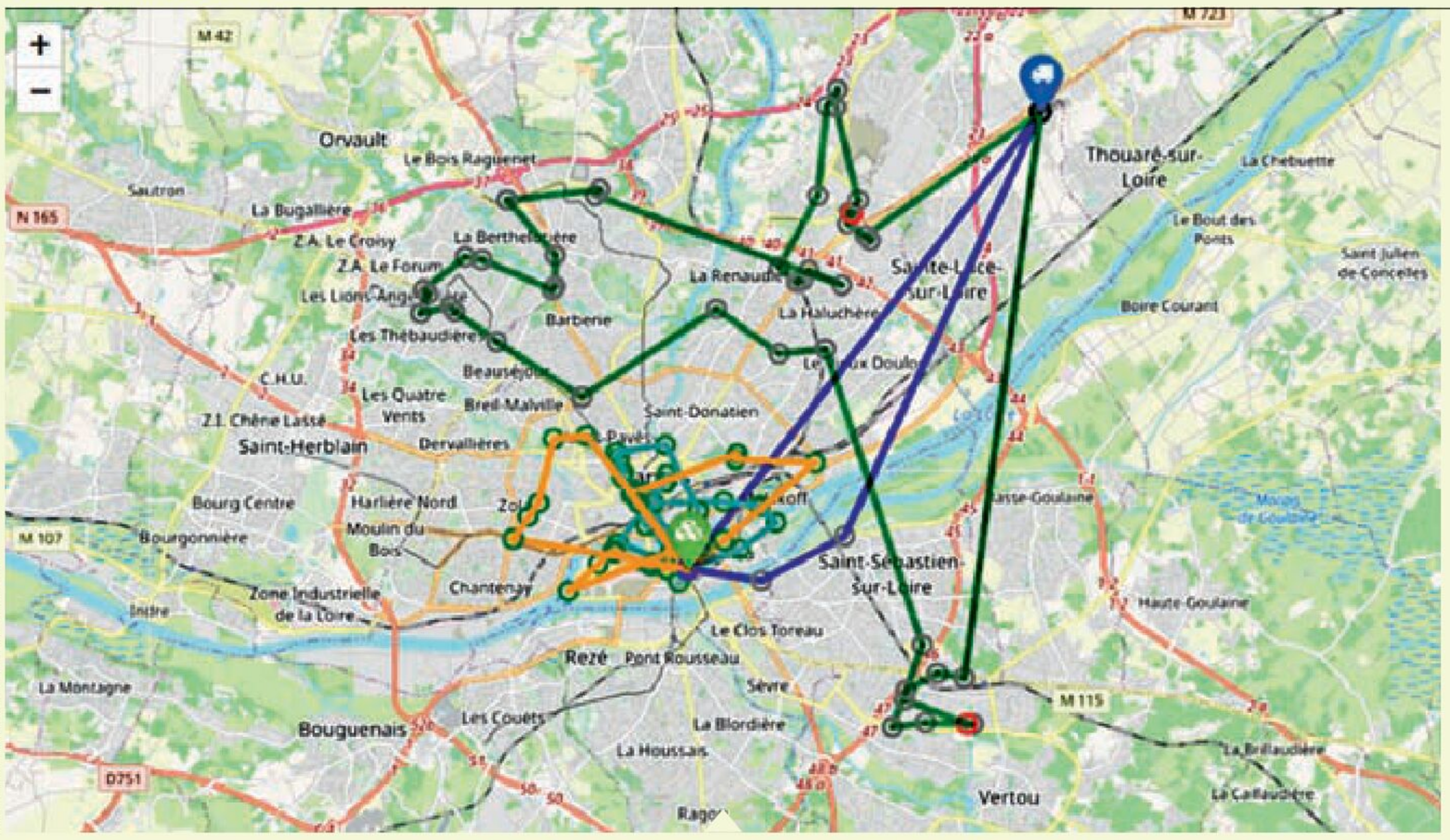
POUR EN SAVOIR PLUS

- **Le projet LEAD de jumeaux numériques de villes :** sciav.fr/886LEAD
- **Démo d'un drone-livreur d'Air Marine :** sciav.fr/886Airmarine
- **Les robots-cargos autonomes dans Milton Keynes :** sciav.fr/886Milton

SOBEN

« En ville tout bouge tout le temps. La technologie n'est pas encore prête pour affronter tous les obstacles »

Benjamin Talon, cofondateur de Soben, qui fabrique les robots TwinswHeel, à Cahors (Lot)



IMT ATLANTIQUE, URBY NANTES

Le prototype de logiciel d'IMT Atlantique permet de tester virtuellement des localisations variées d'espaces logistiques urbain (ELU) (ici Nantes) afin de définir des parcours de livraisons optimaux.

ALGORITHMES ET FLUX

Livraisons : le défi technologique du « dernier kilomètre »

La distribution de marchandises vers les clients nécessite plusieurs transferts, des gros véhicules aux petits, appelés ruptures de charge. Ce qui implique de déterminer où effectuer ces opérations, de rationaliser les trajets et de synchroniser des flottes de véhicules. En 2019, l'agglomération de Nantes a ainsi lancé l'appel à projet Flux : Fabriquons la logistique urbaine ensemble. Parmi les 17 lauréats, le consortium formé par Urby Nantes, IDEA et la société de conseil Keran se propose de mutualiser les flux entrant en ville pour améliorer la livraison dite du dernier kilomètre. La clef ? Développer les ELU (espaces logistiques urbains) qui réceptionnent les marchandises expédiées d'un centre logistique situé en périphérie, puis les relaient à des véhicules à faible émission carbone comme des vélos-cargos. Spécialistes en optimisation de réseaux logistiques au Laboratoire des sciences du numérique de Nantes à IMT Atlantique, Fabien Lehuédé et Olivier Péton ont travaillé sur un démonstrateur d'aide à la conception de ce dispositif. *« Les logiciels existants optimisent les tournées entre l'entrepôt de départ et les points de livraison mais aucun n'exploite les transferts de marchandises et les ruptures de charge sur des ELU »*, explique Fabien Lehuédé. L'outil définit les flux qui doivent les alimenter à l'aide d'algorithmes conçus par les chercheurs en fonction de leur localisation et de diverses contraintes. *« Le plus difficile*, note Olivier Péton, *reste l'acceptation par les collectivités et les citoyens des espaces urbains dédiés à la logistique plutôt qu'aux logements, aux commerces ou aux activités culturelles et de loisirs. »*

▶ *technologie n'est pas encore prête pour affronter tous ces obstacles. »* L'organisation urbaine non plus. D'où des projets de recherche plus globaux. Comment évaluer les flux logistiques ? Où placer les hubs ? Faut-il mutualiser certaines étapes de la chaîne ? Quelles sont les solutions les plus adaptées et viables ? C'est l'enjeu du projet européen LEAD, regroupant partenaires académiques, industriels et collectivités locales. Il consiste en la création de « jumeaux numériques » de six villes (Budapest, Madrid, La Haye, Oslo, Porto et Lyon) afin d'y tester virtuellement des scénarios prospectifs.

« Il s'agit de voir quel sera l'impact de l'"implémentation" d'entrepôts urbains, de robots de livraison ou de la réduction d'accès à certains véhicules. C'est un outil de simulation », explique Jakob Puchinger, professeur titulaire de la chaire Anthropolis à l'IRT SystemX à Palaiseau (Essonne) et à CentraleSupélec sur le campus de Paris-Saclay.

Capter les flux de fret pour obtenir des données

Chaque double numérique intégrera les données réelles de cartographie, de trafic, la demande en logistique et les scénarios qui alimenteront une bibliothèque de modélisations. Ainsi, chaque ville pourra, à terme, explorer virtuellement de nouvelles approches logistiques connectées au territoire. Dans ce cadre, SystemX met en place un *living lab* dans le quartier de La Confluence à Lyon pour notamment capter les flux logistiques, pour lesquels les données spécifiques font défaut. Concrètement, un système de détection d'image identifiera les véhicules relevant du fret, les classera par typologie tandis que le temps qu'ils passent dans la zone sera mesuré. *« Le but est de se faire une idée de ce qui se passe à l'échelle d'un quartier »*, complète Yann Briand, responsable mobilité chez SystemX.

À Lyon, Paris ou Nantes commencent aussi à fleurir des espaces logistiques urbains (ELU), dont le principe consiste à exploiter des zones existantes délaissées pour effectuer le transfert entre gros véhicules de transport et livreurs dits du dernier kilomètre. Encore faut-il identifier ces lieux et en simuler le fonctionnement *(lire l'encadré ci-contre)*. Surtout, il s'agit de convaincre riverains et élus. Ce qui n'est plus du ressort de la technologie. ■

Arnaud Devillard
@A_Devila

Un outil ultrasensible pour détecter les séismes

Les capacités d'analyse de cette IA permettent de caractériser des événements très faibles, qui pourraient être les prémices de séismes majeurs.

JIJI PRESS / AFP

Le nouvel outil a détecté deux fois plus d'événements à partir des données du séisme de Tottori, au Japon, en 2000.

« Earthquake Transformer » : voici le nom d'un nouvel outil de détection des séismes qui a permis à une équipe de l'université Stanford (États-Unis) d'identifier des signaux si faibles qu'ils passaient jusqu'à aujourd'hui inaperçus. Il y a peu encore, l'analyse des données sismiques enregistrées par des capteurs répartis sur le globe nécessitait des heures de déchiffrage. Afin d'automatiser l'analyse de ces données, les chercheurs ont mis au point successivement deux modèles d'intelligence artificielle reposant sur « l'apprentissage profond » (*deep learning*). Le premier s'appuyait en 2018 sur des algorithmes issus de systèmes de traitement d'images médicales avec pour tâche de discriminer les deux types d'ondes sismiques qui permettent de déterminer l'épicentre et la magnitude d'un séisme : les ondes primaires « P », qui se propagent rapidement, et les ondes secondaires « S », plus lentes mais plus destructrices. En 2019, le second modèle, inspiré cette fois par les algorithmes des assistants virtuels, s'est également révélé efficace pour la détection sismique.

Leur héritier, Earthquake Transformer, est doté de plus de capacités d'analyse, grâce à un procédé appelé « mécanisme d'attention hiérarchique » qui reproduit ce que nous faisons intuitivement, à savoir négliger les détails pour nous concentrer sur l'essentiel. Son épreuve finale : Earthquake Transformer a dû analyser 5 semaines de données enregistrées autour d'un séisme qui s'est produit en 2000 au Japon. Résultat : il a détecté et localisé deux fois plus d'événements en utilisant moins d'un tiers des stations sismiques normalement nécessaires, et ce avec une précision proche de celle des analystes humains mais avec une bien plus grande rapidité. Surtout, son efficacité et sa sensibilité lui permettent de caractériser des événements plus faibles, qui pourraient être les prémices de séismes majeurs. ■

Sylvie Rouat @srouat1

AURÉLIEN ALVAREZ

PAR AURÉLIEN ALVAREZ*

Riemann chasse l'ambiguïté

Quelle est la racine carrée de 9 ? C'est 3 bien sûr car $3\times3 = 9$. Mais, d'après la fameuse règle des signes, il est tout aussi vrai que $(-3) \times (-3) = 9$. Du coup, le nombre 9 a non pas une racine carrée mais deux ! Et ce qu'on vient de voir pour le nombre 9 est un fait général : « *Tout nombre complexe z non nul a exactement deux racines carrées distinctes* » qui sont deux nombres complexes opposés. Autrement dit, si x est un nombre complexe tel que $x^2 = z$, alors $y = -x$ vérifie également $y^2 = z$. Traditionnellement, on utilise le symbole $\sqrt{}$ pour désigner la racine carrée d'un nombre mais c'est une notation bien ambiguë *a posteriori* : $\sqrt{z}$ désigne-t-il x ou $-x$ dans nos notations précédentes ? À part pour $z = 0$ pour lequel $x = -x = 0$, on est bien embêté... Par exemple, si on note i un nombre complexe tel que $i^2 = -1$, alors $\sqrt{-1}$ est-il égal à i ou $-i$?

Des difficultés analogues se présentent en fait pour de nombreuses autres fonctions classiques, comme le logarithme ou l'arcsinus, auxquelles on a envie d'associer plusieurs valeurs en un point donné et pour lesquelles il n'est pas possible de choisir naturellement une valeur plutôt qu'une autre : on parle de fonctions « multivaluées » ou « multiformes ».

> « Les surfaces de Riemann ont permis de lever l'ambiguïté des fonctions multiformes »

Pour contourner cette difficulté, les mathématiciens du XIXe siècle se sont rendu compte que ces fonctions étaient en fait bien définies sur des « surfaces étalées au-dessus du plan ». C'est ainsi que sont nées les « surfaces de Riemann », objets omniprésents dans les mathématiques contemporaines, sur lesquelles les fonctions multiformes de nos prédécesseurs deviennent alors de vraies fonctions au sens moderne du terme, c'est-à-dire qui prennent une unique valeur en un point donné. ■

* Professeur à l'ENS de Lyon.

Les humains précipitent l'évolution

« Homo sapiens » ne provoque pas seulement la disparition d'espèces. Il favorise aussi l'apparition de nouvelles. En mode accéléré. Si bien qu'une discipline apparaît pour étudier ces phénomènes, l'évologie, contraction d'évolution et d'écologie.

Par Rachel Mulot @RachelFleaux

PHOTOS : ROBERT FLETCHER

Le bec de « Rostrhamus sociabilis plumbeus » a grossi pour pouvoir s'attaquer à la coquille d'un escargot invasif, 2 à 5 fois plus gros que celui consommé jusque-là par le rapace (à droite).

A PRIORI CONDAMNÉS À MOURIR DE FAIM, des oiseaux de proie américains ont évité l'extinction en développant des becs plus longs... en dix ans seulement, selon des observations récentes publiées dans *Nature Ecology and Evolution*. On imagine les yeux grands comme des soucoupes qu'ouvrirait Charles Darwin (1809-1882) à cette nouvelle, lui qui a construit sa théorie de l'évolution en s'appuyant justement sur les variations — qu'il estimait plutôt lentes — des becs de pinson en fonction de leur alimentation dans les îles Galapagos. Dans *L'Origine des espèces* (1859), il écrivait : « *La sélection naturelle agira toujours très lentement, souvent seulement à de longs intervalles de temps.* » Le savant n'avait pas imaginé qu'au cours des XX^e^ et XXI^e^ siècles, les humains exerceraient des pressions telles sur la biodiversité qu'ils en deviendraient l'un des moteurs ! Pas uniquement par le biais de la chasse, de la domestication ou de la modification des paysages

CARLOS A. CARRENO / C3. PHOTOS/ GETTY IMAGES

Le milan des marais, un rapace d'Amérique, a dû modifier sa morphologie pour continuer à se nourrir d'escargots invasifs géants.

(voir le tableau p. 52), mais aussi à travers leurs voyages mondialisés, l'introduction d'espèces exotiques, le changement climatique et l'abus de produits chimiques. Au point qu'une nouvelle discipline est en train de naître selon l'écologue Timothy Farkas, de l'université du Nouveau-Mexique, à Albuquerque (États-Unis) : *« l'évologie, un mélange entre les études d'écologie et d'évolution.* » Les exemples se multiplient et permettent de mieux comprendre l'ampleur du phénomène.

Ainsi, l'histoire racontée par Robert J. Fletcher Jr, un chercheur de l'université de Floride à Gainesville (États-Unis), au sujet des changements morphologiques rapides des rapaces locaux à la suite des bouleversements humains est passionnante : il y a vingt-cinq ans, comme tous ses collègues, les scientifiques ne donnaient pas cher de la peau du milan des marais des Everglades (*Rostrhamus sociabilis plumbeus*) en Floride. L'espèce était menacée par la raréfaction de sa proie quasi exclusive : un mollusque d'eau douce présent depuis plus de 2 millions d'années, mais peu à peu laminé par le drainage des canaux, la disparition des zones humides et la pollution. En 2007, l'inquiétude monte d'un cran avec l'invasion d'escargots géants d'eau douce (*Pomacea maculata*), relâchés dans la nature par des vendeurs d'animaux de compagnie tropicaux. Les envahisseurs — increvables face à l'assèchement, les inondations et les produits chimiques — sont deux à cinq fois plus gros que les indigènes, leur coquille atteignant jusqu'à 15 cm de diamètre.

Les premières observations montrent que les jeunes milans ne parviennent pas à en extraire la chair, leur bec étant trop petit, ce qui semble sonner le glas de l'espèce… Mais c'est l'inverse qui se produit ! Partout où l'escargot exotique prospère, les populations de milans augmentent.

Au laboratoire de Gainesville, les chercheurs pensent que les jeunes rapaces ont appris à manier ces proies plus massives jusqu'à ce que Rob Fletcher Jr suggère que les milans ont pu s'y adapter… par de plus gros becs. Le scepticisme de ses collègues est général mais l'analyse de onze années de données morphologiques lui donne raison. Les oisillons grandissent et grossissent bel et bien plus vite chaque année, surtout du bec ! *« Jusqu'à plus 2 mm pour un appendice de 23,4 mm en moyenne chez les jeunes à l'envol, soit une augmentation de 9 % ! »* détaille Rob Fletcher Jr (Chez les adultes, la taille du « *claquoir* » varie de 26 à 34 mm).

La régulation génétique de la croissance modifiée

Malheureusement, faute de temps et de moyens, les scientifiques n'ont pas pu pousser plus loin leurs investigations. *« Cependant, nous soupçonnons qu'un changement dans la régulation génétique de la croissance de cet appendice peut s'être produit, ce qui pourrait présager un véritable changement évolutif »*, souligne Rob Fletcher Jr. Car un oiseau peut avoir le potentiel génétique de développer un très gros bec, à condition qu'il exerce les muscles de son appendice en mangeant de plus grosses proies dans sa jeunesse. Pour le spécialiste, *« ce travail illustre très clairement que même de grands prédateurs vertébrés peuvent répondre aux invasions à un rythme beaucoup*

ANNE CHARMENTIER

« Pour prouver une évolution, il faut de savantes expériences de laboratoire, explorer génomes et épigénomes »

Anne Charmantier, biologiste de l'évolution, chercheuse au centre d'écologie fonctionnelle et évolutive de Montpellier (CNRS)

ANTHROPISATION

Des modifications morphologiques très marquées

Les comportements humains influencent l'évolution écologique depuis des siècles. La chasse de trophées conduit ainsi à une réduction de la taille des cornes ou crinières ; la prédation se traduit par un rapetissement des proies. L'extinction d'une espèce favorise la miniaturisation de ses ressources alimentaires, qui n'ont plus à résister en croissant. La domestication sélectionne des aliments — animaux ou végétaux — dépourvus de défenses et plus charnus. La disparition d'arbres au profit de constructions favorise la modification des membres des espèces qui explorent ces nouveaux terrains urbains. La sélection génétique, enfin, accélère notamment la croissance.

BRUNO BOURGEOIS - SOURCE : NATURE 2017.

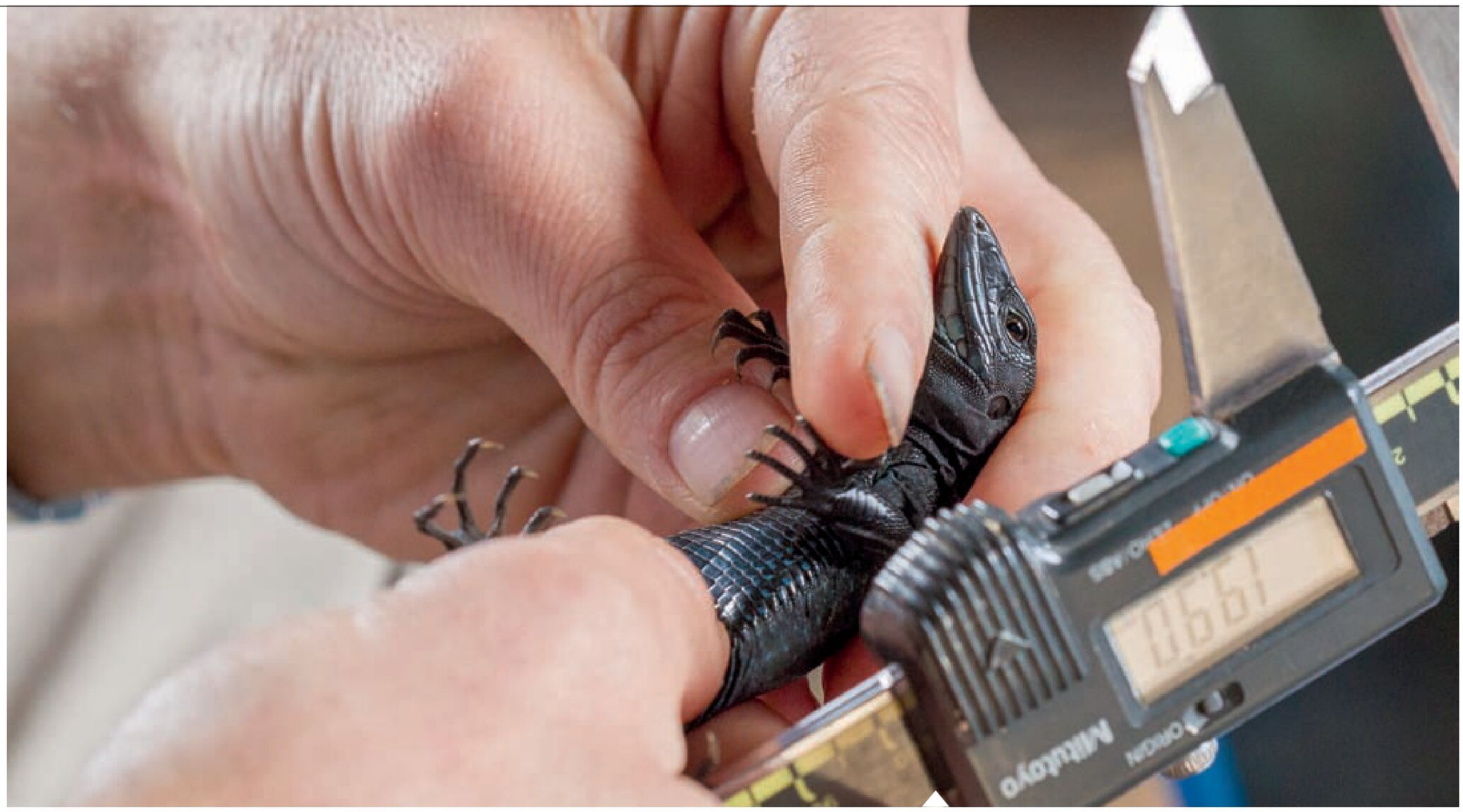
plus rapide que nous le supposions ». Prouver une évolution n'est cependant pas aisé. Pour en avoir le cœur net, « *il faut mener, en laboratoire, de savantes expériences de croisement ou explorer des génomes et des épigénomes*, explique Anne Charmantier, spécialiste en génétique et écologie évolutive au CNRS, à Montpellier. *Il faut en effet déterminer si les organismes étudiés bénéficient d'une évolution passée ou s'ils ont la capacité d'ajuster eux-mêmes leur comportement ou leur morphotype en fonction de l'environnement. Et comprendre si des modifications génétiques sont — ou non — à l'œuvre.* » (Lire l'encadré p. 53.) C'est ce que fait Yoel Stuart, biologiste à l'université du Texas, à Austin (États-Unis), qui a introduit en 1995 le lézard anole brun (*Anolis sagrei*) cubain dans de petites îles où l'anole vert (*A. carolinensis*) coulait des jours tranquilles. Le chercheur souhaitait mesurer dans « *ces laboratoires confinés de plein air* » l'impact de cet envahisseur, arrivé en Floride avec des plantes importées auxquelles ses œufs étaient restés accrochés. La rencontre est stressante. Soumis à une concurrence alimentaire et spatiale et à une voracité cannibale, les lézards verts se perchent plus haut dans les arbres, là où les branches sont plus minces et ploient. Mais ils évitent la dégringolade ! Car en 20 générations (quatorze ans), ils se dotent de doigts plus longs et de coussinets collants plus larges sur les orteils. À titre de comparaison, si la taille de l'être humain évoluait aussi vite, elle passerait d'environ 1,80 m à 2 mètres en cinq cents ans. « *La vitesse de la réponse évolutive nous a surpris, mais elle a renforcé la notion grandissante selon laquelle l'évolution peut être observée en quelques générations lorsque la survie et la reproduction en dépendent* », détaille Yoel Stuart.

La souris d'Europe est devenue résistante à un raticide en s'hybridant avec un rongeur d'Algérie.

Autre pression humainement induite, celle du changement climatique en cours. « *Avec la fonte des neiges, la chouette hulotte de Finlande* (Strix aluco) *a vu quasi disparaître sa forme grise au profit de la forme brune* », explique Patrik Karell, de l'université d'Hel-

J. & C. SOHNS / ALAMY / PHOTO 12

La forme claire de la chouette hulotte tend à disparaître en Finlande en raison du recul de l'enneigement hivernal.



GEOFFREY GILLER

« Pholidoscelis atratus », un lézard endémique de l'île Redonda, aux Antilles, a connu des changements morphologiques rapides depuis que les chèvres et les rats, introduits par les humains il y a deux siècles, ont été éradiqués de son biotope.

sinki (Finlande). Le phénomène s'est accéléré au cours des vingt-huit dernières années, a-t-il détaillé dans un article de *Nature* (2011). Or la coloration des chouettes est hautement héréditaire, indépendante de l'âge et du sexe. Les scientifiques ont ainsi pu apporter les preuves solides d'une réponse génétique au changement climatique. Une première chez des animaux vertébrés. Dans la foulée, des études probantes ont été faites chez les saumons roses d'Alaska, montrant que les individus au profil génétique de migrateurs précoces ont été sélectionnés au détriment des migrateurs tardifs. Car fuir le plus tôt possible la chaleur des eaux est devenu vital...

La notion de spéciation remise en question

Le milieu urbain peut aussi favoriser l'éclosion de nouvelles espèces, comme *Culex molestus*, *alias* le moustique vorace du métro de Londres, distinct génétiquement des autres *Culex* comme l'a montré Kate Byrne, de la Queen Mary University de Londres (Royaume-Uni) dès 1998. Piégé dans les tunnels, l'insecte a changé de cible alimentaire en piquant humains et rats, faute d'oiseaux ; de surcroît, il n'hiberne plus et a abandonné la formation de nuées pour se reproduire. Aujourd'hui, ce moustique s'est répandu dans de nombreuses villes du monde (New York, Paris, Shanghai, Moscou). Un large recours aux produits chimiques a aussi favorisé l'apparition de punaises et de moustiques insensibles à tous les insecticides.

Mais l'exemple le plus frappant est l'apparition, en Espagne et en Allemagne, de « super-souris » résistantes à la warfarine, un anticoagulant censé réduire leurs boyaux en bouillie. « *Quelques rongeurs d'Europe* (Mus musculus domesticus) *ont pu s'accoupler avec succès avec des cousins lointains naturellement immunisés et venus d'Algérie* (Mus spretus) *en suivant les migrations humaines* », raconte Michael Kohn, de l'université Rice, au Texas (États-Unis), qui a mis au jour ces hybridations dans *Current Biology*. Un choc ! car les deux espèces, génétiquement « déconnectées » depuis au moins 1,5 million d'années, auraient dû perdre la possibilité de se reproduire.

Cette découverte interroge la validité de la notion de spéciation — ou apparition de nouvelles espèces incapables de se reproduire entre elles. « *L'évolution s'accélère tant qu'elle bouleverse nos expérimentations de terrain et nos certitudes*, résume l'écologue Timothy Farkas qui travaille sur les phasmes verts et bruns et a vu ses expériences balayées par des phénomènes aussi rapides qu'inattendus. *Le "graal" aujourd'hui, c'est l'évologie. La seule façon pour nous de tenter de comprendre l'ampleur du phénomène.* » ■

SÉLECTION NATURELLE

Microévolution ou plasticité

Selon Darwin, à mesure que l'environnement change, les attributs permettant aux individus de mieux résister à ces modifications sont favorisés par la sélection naturelle. S'ils sont hérités, une nouvelle espèce se formera avec le temps. Cependant, les adaptations ne sont pas toutes directement transmises par les ascendants. Certaines, par exemple quand un organisme vivant à des altitudes élevées répond au manque d'oxygène en produisant davantage de globules rouges, se produisent par le biais de modifications dans l'expression des gènes, et non dans les gènes eux-mêmes (microévolution). C'est ce que les scientifiques appellent la plasticité phénotypique. Le « phénotype » désigne ce à quoi ressemble un organisme, alors que « génotype » renvoie à sa constitution génétique.

Semée en mars, la betterave accumule très vite le sucre dans son tubercule et est récoltée dès novembre. Mais les néonicotinoïdes dont les graines ont été entourées sont si persistants dans le sol qu'ils interdisent toute récolte de plantes à fleurs (maïs, colza, tournesol) l'année suivante.

Betterave : la guerre des néonicotinoïdes est relancée

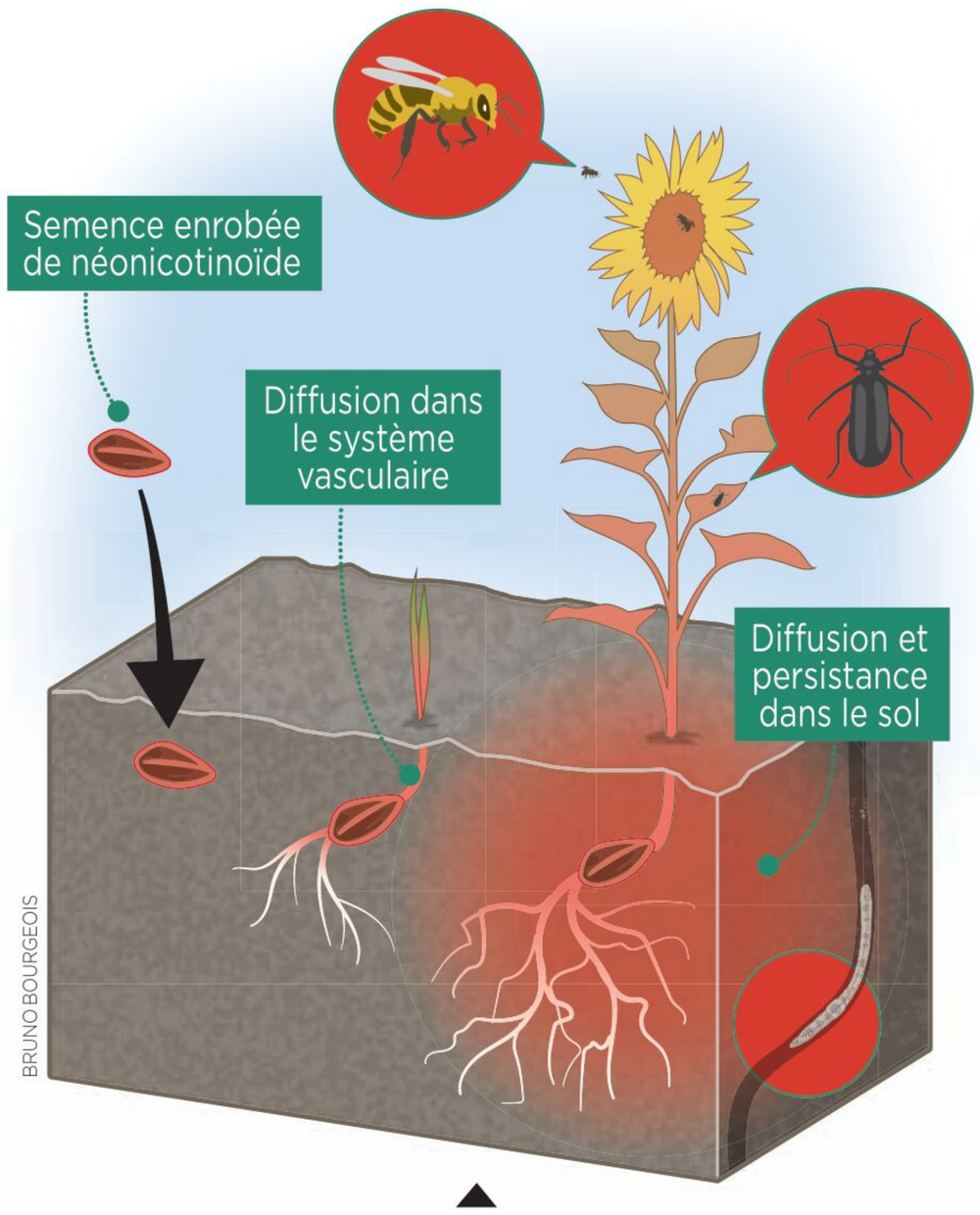
Un temps interdits, ces insecticides sont de nouveau temporairement autorisés en France. Faute de volonté et d'anticipation, aucune alternative n'est en effet prête pour éliminer ces produits dont la dangerosité est pourtant prouvée.

NOVEMBRE : L'ARRACHAGE BAT SON PLEIN. Et le climat qui entoure les énormes engins de récolte de la betterave sucrière est délétère. En cause, le virus de la jaunisse. Les rendements, cette année, ont baissé en moyenne de 15 %, mais dans le sud de l'Île-de-France, c'est la moitié de la récolte qui a disparu. Surtout, cette maladie a semé la zizanie. En faisant pression sur les députés, les agriculteurs ont en effet obtenu une volte-face de l'État, en octobre. Le gouvernement est revenu sur la loi « de reconquête de la biodiversité » de 2016 interdisant les semences enrobées de néonicotinoïdes, autorisant les betteraviers à l'utiliser de nouveau lors de leurs semis du printemps 2021. Ce qui a provoqué l'indignation des organisations envi-

THIERRY ZOCCOLAN/AFP

ronnementales en lutte contre des produits dont la dangerosité pour les pollinisateurs est scientifiquement prouvée. Comment la ministre de la Transition écologique Barbara Pompili s'est-elle retrouvée à demander la fin d'une interdiction qu'en tant que députée… elle avait obtenue de haute lutte quatre ans auparavant ? La contradiction illustre parfaitement la difficulté de passer d'un modèle agricole productiviste à l'agroécologie. Et démontre par l'absurde que les méthodes de biocontrôle des ravageurs devant se substituer aux pesticides ne sont pas prêtes. En grande partie du fait de la procrastination du secteur betteravier. En urgence, le gouvernement vient de débloquer 7 millions d'euros pour accélérer la recherche sur les alternatives aux néonicotinoïdes.

Il faut dire que — du point de vue des cultivateurs — ces substances sont bien pratiques. Enrobant la semence, elles sont présentes dès la germination de la graine et donc bien avant l'arrivée des pucerons infestés qui transmettent la jaunisse à la plante *(voir l'infographie ci-dessus)*. Autrement dit, aux yeux des betteraviers, elles sont une assurance tous risques. Car les produits chimiques visant les pucerons eux-mêmes, des mélanges de pyréthrinoïdes et de carbamates, ne sont plus du tout efficaces. « *Lors de notre évaluation des alternatives aux néonicotinoïdes en 2018, nous avions bien noté que les traitements phytosanitaires de la betterave n'agissaient plus du fait de la résistance développée par les pucerons* », rappelle Philippe Reignault, directeur de la santé des végétaux à l'Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation et de l'environnement (Anses). En outre, voilà bien longtemps que les industriels ne recherchent plus de nouveaux pesticides chimiques en raison des réductions imposées peu à peu, la prochaine politique agricole commune (PAC) ambitionnant ainsi une baisse de moitié des épandages au cours de la prochaine décennie. Dès lors, pourquoi n'avoir pas réagi plus tôt ? La profession se défend. « *Nous avons des programmes de recherche en agroécologie que les betteraviers sont prêts à adopter*, assure Vincent Laudinat, directeur général de l'Institut technique de la betterave (ITB). *Malheureusement, il faut du temps pour les valider.* »



Les néonicotinoïdes sont dits systémiques car ils se diffusent dans tous les organes de la plante. Ils protègent celle-ci dès la germination de la graine et accompagnent la croissance du végétal par les vaisseaux transportant la sève. Ces produits puissants sont persistants dans l'environnement et ne se diluent pas.

38,5
millions de tonnes
la production française de betteraves, la deuxième au monde (derrière la Russie). La plante occupe 450 000 hectares.

Ces travaux ont en effet démarré au milieu des années 2010… mais bien trop tard pour anticiper une interdiction que la profession ne voulait de toute façon pas envisager tant les néonicotinoïdes lui semblaient vertueux, remplaçant à eux seuls jusqu'à trois traitements phytosanitaires par an. Mieux ! en 2011, le programme de recherche Aker — mené conjointement par l'Inrae (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) et l'ITB — portait sur « *de nouvelles variétés de betteraves produisant plus de sucre, plus résistantes à la sécheresse et moins sensibles à la cercosporiose, une maladie provoquée par un champignon* », comme le détaillait Vincent Laudinat, directeur général de l'ITB, lors de la restitution des résultats en septembre.

Des travaux d'hybridation entre espèces sauvages et cultivées

Et le virus de la jaunisse ? « *Ce n'était pas un problème, nous avions les néonicotinoïdes* », reconnaissait-il. Aker pourrait malgré tout servir pour lutter contre le virus grâce aux travaux d'hybridation d'espèces sauvages de betteraves avec des variétés exploitées qui ont été menés dans ce cadre. « *Outre les 322 régions du génome de la betterave (qui comprend 9 chromosomes) agissant sur le rendement en sucre, nous avons pu en déterminer 89 en lien avec les résistances aux maladies* », explique Christian Huygues, directeur scientifique à l'Inrae. 3200 variétés ont ainsi été testées sur 63 000 parcelles. Soit une bonne base pour aller piocher des hybrides présentant des capacités ▸

INRAE

« 89 régions du génome à 9 chromosomes de la betterave sont en lien avec des résistances aux maladies »

Christian Huygues, directeur scientifique à l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae)

ALTERNATIVES

Les trois voies pour se passer des néonicotinoïdes

FOGELINA CUPERUS (WUR)

La plantation en bandes consiste à alterner les cultures sur des largeurs de 6 mètres afin de limiter les attaques de ravageurs spécialisés sur une plante.

Le plan présenté au ministre de l'Agriculture emprunte trois voies qui tournent le dos aux produits chimiques pour aller vers l'agroécologie. La première consiste en une lutte biologique contre le puceron *Myzus persicae*, vecteur du virus de la jaunisse. Pour cela, il s'agit de mieux comprendre les relations du virus avec l'insecte et les conditions qui favorisent la prolifération de ce dernier. Il faudra ensuite approfondir la piste des prédateurs de *Myzus persicae*. *« Des hyménoptères parasitoïdes nous intéressent particulièrement parce qu'ils pondent leurs œufs à l'automne dans les larves de pucerons pour qu'ils y passent l'hiver et se réveillent au printemps pour se nourrir de leurs hôtes »*, précise Alexandre Quillet, président de l'Institut technique de la betterave (ITB). La deuxième consiste à améliorer la résistance des plantes. La recherche portera sur des éliciteurs, des molécules aptes à déclencher chez la plante des mécanismes de défense. Des études vont également être menées sur l'introduction de plantes émettant des odeurs repoussant les pucerons comme l'œillet d'Inde les dissuadant ainsi d'entrer dans les champs. La troisième voie, la plus ambitieuse certainement consiste à agir sur « le paysage agricole ». en réduisant les immenses parcelles dans lesquelles est cultivée la betterave sucrière. *« Les centres de ces grandes parcelles sont accessibles aux pucerons mais pas à leurs prédateurs*, regrette Xavier Reboud. *Il faut donc prioritairement réduire la taille des champs et les entourer de nature. »* L'adjonction de haies et de bandes enherbées et fleuries a en théorie un double usage : favoriser l'émergence des auxiliaires des cultures et ennemis des pucerons et donner aux abeilles de quoi butiner, les détournant ainsi des plantes repoussant après les betteraves et qui sont encore gorgées de néonicotinoïdes. Une autre solution développée par l'université de Wageningen (Pays-Bas) est la culture par bandes. Blé, maïs, betterave ou colza voisinent sur des espaces de 6 à 10 mètres de largeur, empêchant ainsi les ravageurs spécifiques à une plante de prospérer.

de résistance au virus. *« Quatre variétés sont en cours d'évaluation et pourraient être mises à la disposition des agriculteurs dès 2023, juste à temps pour la fin de la période de dérogation »*, espère Bruno Desprez, président du principal fournisseur de semences de betterave Florimond Desprez. Mais là encore, que de temps perdu ! Car des variétés résistantes à la jaunisse avaient déjà été développées, notamment au Royaume-Uni, au début des années 2000. Des recherches freinées par l'essor des néonicotinoïdes.

Une dérogation qui pourrait ne pas aller au-delà de 2023

Aujourd'hui, le secteur agricole promet qu'il respectera les trois années de sursis accordées par la loi du 6 octobre. Il ne s'agirait donc que de faire passer une étape difficile à une filière industrielle garante de l'indépendance du pays en matière d'approvisionnement en sucre. Un argument que réfutent les ONG qui estiment que les betteraviers n'ont pas besoin des néonicotinoïdes. *« Les ravages de la jaunisse feront, certes, baisser le rendement de 8 à 10 % cette année si celui-ci descend à 76 tonnes par hectare* [contre 85 t/ha en année normale], affirme ainsi l'ONG Générations futures. *Mais cela reste très largement au-dessus de la moyenne européenne ! C'est 15 tonnes de plus que l'Allemagne, deuxième producteur de l'Union européenne. »* Le débat actuel ne serait donc qu'un ultime soubresaut. *« Au vu des pressions techniques, environnementales et sociétales qui pèsent sur le secteur, on voit mal cette dérogation se prolonger au-delà de 2023 »*, estime Philippe Reignault. Ce serait ainsi le signe que les mentalités ont changé. Alexandre Quillet abonde : *« Dans trois ans, la façon de cultiver la betterave aura radicalement changé. »* Dont acte. ■

Loïc Chauveau @Loïc_Chauveau

Vous avez le sens de l'étiquette.
Bexley
Chaussures détente
Cuir patiné
99€
Prix Unique
69€ la 2ème paire au choix
Bien sûr, vous avez bon goût. Le bon goût de ne jamais faire de faute de goût quelle que soit l'occasion. Et pour ne jamais commettre d'impair vous choisissez Bexley et ses modèles assurément dans les bons codes de l'élégance, de ce qui fait l'étiquette dans toutes sociétés. Mais là où vous excellez en matière de bon goût, c'est que vous avez l'intelligence de ne pas y laisser votre chemise, de mettre le bon prix, le prix de l'exigence, de l'excellence des matières, des savoir-faire français et c'est aussi ça, avoir le sens de l'étiquette.
Nos boutiques
#lesensdeletiquette | Bexley.fr
AIX-EN-PROVENCE I ANNECY I BORDEAUX I PARLY 2 - LE CHESNAY I LILLE I LYON 1ER I LYON 2ÈME I LYON 6ÈME I MARSEILLE I NANTES I NICE I PARIS 4ÈME - HENRI IV I PARIS 6ÈME - SAINT GERMAIN I PARIS 7ÈME - RASPAIL I PARIS 8ÈME - CHAUVEAU LAGARDE I PARIS 8ÈME - CHAMPS ÉLYSÉES I PARIS 8ÈME - LA BOÉTIE I PARIS 15ÈME - VAUGIRARD I PARIS 17ÈME - PALAIS DES CONGRÈS I PARIS - LA DEFENSE I TOULOUSE I STRASBOURG I BRUXELLES

Comment se forment réellement les atolls

L'origine volcanique de ces couronnes de coraux entourant un lagon est désormais exclue au profit d'une explication sédimentaire.

DUGAST/ZEPPELINNETWORK/SIPA

Les atolls résultent des variations du niveau des océans en période glaciaire ou interglaciaire. L'émersion forme la cuvette (lagon), l'immersion favorise la croissance des coraux en bordure (ici, Clipperton).

Relever une erreur de Darwin, c'est délicat ! C'est donc avec beaucoup de respect que le Français Stéphan Jorry et l'Américain André Droxler rectifient l'histoire géologique des atolls dans un article paru dans la revue *Annual Review of Marine Science*. Ces couronnes de coraux bordant un lagon n'ont pas une origine volcanique comme l'avait affirmé le père de la théorie de l'évolution et comme on l'enseignait depuis : elles résultent en réalité d'un mécanisme sédimentaire, expliquent le chercheur en géosciences marines de l'Ifremer et le professeur du département des sciences de la Terre de l'université Rice, à Houston (États-Unis). « *Pour sa décharge, quand il a publié son ouvrage sur les atolls en 1842, Darwin ignorait tout des glaciations du quaternaire qui ont provoqué les hausses et baisses importantes du niveau des mers à l'origine de cette formation géologique* », explique Stéphan Jorry.

Rappelons l'histoire. À l'occasion de son séjour à Tahiti, lors de son voyage sur le *Beagle* entre 1831 et 1836, Charles Darwin s'intéresse à la formation des récifs coralliens. Pour lui, les atolls sont nés de l'affaissement progressif d'édifices volcaniques poussant les coraux à grandir vers le haut pour rester dans la zone de lumière nécessaire à leur croissance. Mais dès les années 1930, des chercheurs émettent une hypothèse radicalement différente, puisqu'elle met en avant un processus sédimentaire. C'est cette explication qui vient d'être confirmée. Grâce à une compilation de données de forages et d'études sismiques effectuées dans le Pacifique à Mururoa — l'atoll où se sont déroulés les essais atomiques français — et à Funafuti (Tuvalu), ainsi que dans l'océan Indien à Bassa da India, dans le canal du Mozambique, et aux Maldives, les chercheurs ont déterminé trois étapes. Il y a 3,2 millions d'années, une période climatique stable de 80 000 ans provoque la formation de plates-formes de calcaire se développant sur les hauts-fonds océaniques.

Les manuels scolaires et universitaires sont à réécrire

À partir de -2,5 millions d'années, les périodes glaciaires et interglaciaires se succèdent. Les plateaux sédimentaires sont tour à tour émergés et immergés, le niveau des océans descendant alors jusqu'à 130 m en dessous de leur niveau actuel. « *Lorsqu'il est en contact avec l'atmosphère, le calcaire est dissous par les eaux de pluie qui ruissellent sur les bords et s'accumulent au centre, creusant des cuvettes comme celles que l'on peut voir sur les causses du sud de la France* », poursuit Stéphan Jorry. Depuis environ 500 000 ans, le niveau des mers varie tous les 100 000 ans avec des amplitudes de l'ordre de 125 à 135 mètres. « *À chaque période d'immersion, dès lors que les conditions environnementales sont propices, les coraux réoccupent les bordures des plates-formes*, reconstituent les deux chercheurs. *Ils se développent en suivant verticalement les montées successives du niveau de la mer, formant des anneaux de corail qui entourent des lagons profonds.* »

Reste à diffuser la bonne version dans les manuels des collèges et lycées comme dans les cours universitaires ! ■ **Loïc Chauveau**

@Loic_Chauveau

GETTY IMAGES

Même éparse, cette végétation contribue de manière primordiale au stockage de carbone et sert aussi aux populations humaines et animales (ici, au Mali).

Le Sahara abrite des centaines de millions d'arbres isolés

Le stockage de CO_2 par ces arbres pourraient jouer un rôle méconnu sur l'équilibre climatique de cette région aride.

UN MILLIARD HUIT CENTS MILLIONS : c'est le nombre titanesque d'arbres isolés (non forestiers) qui ont été localisés dans l'ouest du Sahara, le Sahel et la zone soudanienne par une équipe internationale de chercheurs. Soit une surface de 1,3 million de kilomètres carrés, l'équivalent d'environ 2,5 fois la superficie de la France. C'est la première fois qu'un tel recensement est réalisé. Or ce nombre pourrait jouer un rôle sur l'équilibre climatique de la région. « *Un arbre, même s'il n'appartient pas à une forêt, est un puits de carbone. Or peu d'études ont été réalisées jusqu'à présent sur ces arbres isolés, et l'on ignore quelle quantité de carbone ils peuvent stocker* », explique Jérôme Chave, chercheur du CNRS qui a participé à ces travaux.

Avec ses collègues, il a rassemblé une multitude d'images satellitaires de ces régions qui ont ensuite été analysées par une intelligence artificielle afin d'identifier les arbres un par un. « *Cette zone du monde possède peu de variétés, ce sont principalement des plantes légumineuses et épineuses, très résistantes à la sécheresse et à la prédation des herbivores* », précise le chercheur. Ce dernier a ainsi été étonné de trouver un grand nombre d'arbres isolés dans des zones très arides, comme en Mauritanie.

Poursuivre le travail à l'échelle planétaire

Ce premier travail pourrait maintenant être poursuivi à l'échelle de la planète afin d'évaluer la quantité de carbone stockée par ces végétaux solitaires. Et d'estimer si leur survie est en danger ou non. « *Un arbre, même isolé, joue un rôle très important pour l'écosystème, offrant de l'ombre aux espèces animales présentes. Et c'est aussi un signe d'eau, de rivière souterraine* », ajoute Jérôme Chave. Sont-ils menacés par le changement climatique ? « *L'eau est rare dans cette zone du monde, mais elle afflue lors des moussons africaines [entre juin et septembre]. Si le changement climatique perturbe cette mousson, on pourrait constater une mortalité des arbres non forestiers à l'avenir.* » ■

Lise Loumé

@Lys_Loume

A. BILLET

PAR CÉLINE GUIVARCH *
CHRONIQUE COÉCRITE AVEC CHRISTOPHE CASSOU**

Un espoir pour le 5e anniversaire de l'Accord de Paris ?

Retour des États-Unis dans l'Accord de Paris après la victoire de Joe Biden à l'élection présidentielle américaine, objectif annoncé par la Chine d'atteindre la neutralité carbone d'ici à 2060 : cette fin d'année 2020 s'achèverait-elle sur quelques bonnes nouvelles ? Les intentions des deux pays comptent ; États-Unis et Chine sont en effet les deux plus gros émetteurs de gaz à effet de serre, représentant aujourd'hui respectivement environ 15 et 27 % des émissions mondiales de CO_2. Côté Chine, cette hausse des ambitions pourrait ainsi éviter un rejet de 215 milliards de tonnes de CO_2 par rapport à ses engagements initiaux. Côté États-Unis, le retour dans l'Accord de Paris pourrait épargner 140 milliards de tonnes supplémentaires. Ces volumes sont à comparer aux budgets carbones compatibles avec une hausse des températures de 2 °C, c'est-à-dire au cumul des émissions pouvant encore être relâchées sans que cet objectif de réchauffement global ne soit probablement dépassé : ils en représentent environ un tiers, ce qui est considérable. Il faut se réjouir de ces annonces, même si les ambitions doivent encore se concrétiser et que des doutes subsistent. De nouvelles centrales à charbon sont en construction en Chine et bon nombre de régulations environnementales ont été « détricotées » aux États-Unis.

> « Le retour des États-Unis dans l'accord pourrait épargner 140 milliards de tonnes de CO_2 supplémentaires »

Surtout, sans l'effet d'une coopération internationale renouvelée et approfondie, et sans le changement de nos modes de vie, les actions des États-Unis et de la Chine seules ne suffisent pas pour contenir la hausse de la température globale en dessous du seuil de 2 °C. Chaque tonne de CO_2 évitée compte mais en ce mois d'anniversaire de l'Accord de Paris, si les vents favorables restent bien faibles, ce ne sont plus des vents contraires.

* Directrice de recherche à l'École des ponts, auteure principale du 6e rapport du Giec, groupe 3.
** Directeur de recherche au CNRS, auteur principal du 6e rapport du Giec, groupe 1.

J'agis avec ENGIE

« Moi je veux cuisiner plus local, mais pour le gaz, je fais comment ? »

Avec l'option Gaz Vert+(1) dans votre contrat gaz naturel, c'est

de 5 à 100 % de gaz vert produit en France.

Dès 1,50 € par mois.

Plus d'infos sur particuliers.engie.fr

ENGIE

L'énergie est notre avenir, économisons-la !

(1) Option Gaz Vert+ de votre contrat gaz naturel : ENGIE achète l'équivalent de la quantité de gaz naturel consommée par le client, à hauteur du pourcentage qu'il a choisi, en gaz d'origine renouvelable et en Garanties d'Origine, directement auprès d'un groupe de producteurs de biométhane dont les sites de production sont situés en France. Option résiliable à tout moment sans frais, avec effet à la fin du mois en cours. 1,50 € TTC par mois pour 5 %, jusqu'à 30 € TTC par mois pour 100 % de Gaz Vert.

ENGIE : SA AU CAPITAL DE 2 435 285 011 € - RCS NANTERRE 542 107 651. © Getty Images, Stocksy.

Les fenêtres laissent échapper la chaleur si elles sont anciennes. Les modèles à double ou triple vitrage sont une bonne solution, mais la pose doit passer par un professionnel.

5 questions pour moins gaspiller d'énergie chez soi

Alors que le gouvernement incite à la rénovation énergétique par un nouveau plan d'aides, certains investissements sont vite rentabilisés. Mais il ne faut pas oublier que quelques gestes simples, au quotidien, peuvent aussi permettre de substantielles économies.

Par Stéphanie Condis, avec Agence Forum News

1 Que faut-il isoler en priorité dans son habitation ?

D'abord le toit, qui représente 25 à 30 % de perte de chaleur, puis les murs (20 à 25 %) et enfin les fenêtres (10 à 15 %). Effectuer les travaux, même coûteux, sur la toiture apporte un réel retour sur investissement. Alternatives à la laine de verre, l'ouate de cellulose (journaux recyclés), la fibre de bois ou le Métisse (laine de coton à base de fibres textiles recyclées) présentent le double avantage d'être plus écologiques et moins onéreux. Pour peu que l'on soit bricoleur, il est possible d'isoler soi-même les murs par l'extérieur ou l'intérieur (moins cher mais réduisant un peu l'espace) : quand les murs sont à 14 °C alors que l'air de la pièce est à 20 °C, la température ressentie n'est que de 17 °C... Les fenêtres donnent aussi une impression de froid et laissent échapper la chaleur si elles sont anciennes. Les modèles à double vitrage, voire triple pour l'exposition côté nord, sont une bonne solution mais la pose doit être effectuée par un professionnel. Enfin, il faut améliorer l'aération de l'habitat, en faisant installer une ventilation double flux, car un air humide est plus difficile à réchauffer...

Plus d'infos sur le guide *« Isoler sa maison »* : www.ademe.fr/isoler-maison

2 Est-il intéressant de modifier son abonnement d'électricité ?

Oui. Le marché étant dérégulé, il est possible de renégocier son contrat et de s'orienter vers des fournisseurs alternatifs, par exemple pour choisir de l'électricité « verte », produite à partir d'énergies renouvelables. Elle n'alimente pas directement les domiciles des souscripteurs, mais elle est injectée dans le réseau global à hauteur de la consommation des clients soucieux d'encourager le développement de l'éolien ou du solaire. À noter que les opérateurs historiques comme EDF ou Engie proposent aussi des offres d'électricité verte.

Il est par ailleurs possible de consommer sa propre énergie, produite, en particulier, grâce à des panneaux photovoltaïques posés sur le toit. Leur prix, qui a baissé, est d'environ 250 €/m², installation comprise. Environ 30 000 foyers français sont aujourd'hui équipés, alors que le potentiel est de quatre millions !

Plus classique, l'abonnement à « heures creuses » est certes plus coûteux que le tarif de base mais il permet de payer moins cher l'électricité à certains moments, en général la nuit. Un choix intéressant quand on possède des appareils programmables (lave-linge ou lave-vaisselle, chauffe-eau, etc.).

1400 euros
Le montant de la facture énergétique totale moyenne par ménage en métropole
(INSEE, 2015.)

15 millions
Le nombre de logements en France en situation de surconsommation énergétique, soit un sur deux.

4,8 millions
Les « passoires thermiques » en France, soit 17 % du parc des résidences principales.

Plus de **100 000 foyers**
bénéficiaires de MaPrimeRénov' depuis janvier 2020.

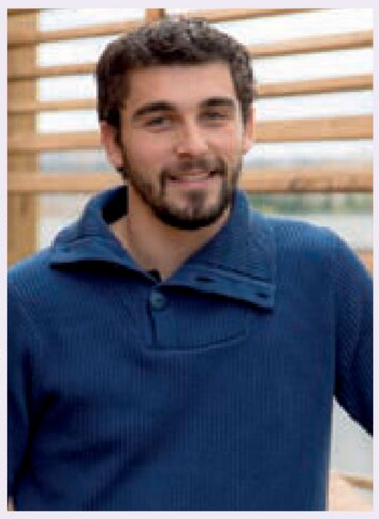
GARO/PHANIE

AVIS D'EXPERT

VINCENT LEVISTRE Conseiller du réseau FAIRE (Faciliter, accompagner et informer pour la rénovation énergétique) et de l'association Énergies Solidaires

« MaPrimeRénov', principale aide à la rénovation énergétique »

En quoi consiste MaPrimeRénov' ?
Lancé en janvier, c'est un outil de simplification des démarches administratives et financières pour rendre plus lisibles, efficaces et accessibles les aides à la rénovation énergétique. Grâce à la plate-forme maprimerenov.gouv.fr on peut faire une simulation et lancer les démarches : demande de financements, envoi des factures, etc. Cela concerne les travaux de changements de fenêtres, d'isolation des toitures plates ou sous rampants, d'isolation des murs par l'intérieur ou l'extérieur, mais pas des combles perdus ni des planchers bas.


YOHANN CORDELLE - L'ATELIER OZ

Quels sont les changements apportés par ce nouveau dispositif?
MaPrimeRénov' est une prime, et non un crédit d'impôt, qui est plus intéressante pour les montants alloués et les délais de remboursement. Davantage de ménages peuvent y prétendre. Outre les conditions de revenus, son montant dépend du type de travaux : si le projet permet d'importantes économies d'énergie, il sera davantage subventionné. Enfin MaPrimeRénov' s'adresse aux copropriétés et aux propriétaires occupants ou bailleurs, à condition qu'il s'agisse, dans les deux cas, de résidence principale.

D'autres aides sont-elles cumulables avec MaPrimeRénov' ?
Elle devient la principale aide à la rénovation énergétique, en remplaçant notamment le crédit d'impôt transition énergétique (Cite). Mais elle peut être associée aux certificats d'économies d'énergie (CEE), aux aides de l'association Action Logement ou à celles des collectivités locales. ■ **Propos recueillis par S. C.**

Plus d'infos sur : www.maprimerenov.gouv.fr
www.faire.fr (conseil gratuit au 0 808 800 700)
https://particuliers.ademe.fr/finances

3 Quels sont les moyens pour faire baisser la facture de chauffage ?

C'est le principal poste de consommation énergétique d'un foyer, soit environ les deux tiers. Sachant qu'un degré en moins permet 7 % d'économie d'énergie, il faut bien régler la température chez soi : entre 19 et 21 °C la journée, 17 °C la nuit ou en permanence dans les pièces peu occupées. L'installation de robinets thermostatiques sur les radiateurs, voire d'une horloge de programmation, donne la possibilité d'ajuster au mieux le chauffage.
Pour éviter les déperditions de chaleur, volets et rideaux doivent être fermés la nuit et la trappe de la cheminée rabattue quand on n'allume pas de feu. Mais l'essentiel est d'isoler correctement son logement, puis d'adapter le générateur de chaleur à la nouvelle configuration de l'habitat. Car si l'on change le chauffage avant les travaux d'isolation, il sera trop puissant par la suite et en sous-régime permanent, ce qui réduit son efficacité et entraîne une usure prématurée. Parmi les systèmes les plus performants à adopter : la pompe à chaleur ou le poêle à granulés de bois, une énergie renouvelable peu coûteuse.

4 Comment limiter la consommation d'eau chaude ?

L'eau chaude correspond au deuxième poste de dépense d'énergie domestique, soit plus de 10 % du total, selon l'Ademe (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.) De simples gestes quotidiens en font baisser la consommation. D'abord installer des mitigeurs (10 % d'économie d'eau par rapport à un robinet classique) et toujours les garder en position « froid », pour éviter d'activer le système d'eau chaude dès qu'on ouvre un robinet. Ensuite prendre des douches (pas plus de 5 minutes et de préférence avec une douchette à turbulence, pommeau qui réduit le débit de moitié sans que l'on s'en rende compte) plutôt que des bains, trois fois plus gourmands en eau. Enfin s'équiper d'un lave-vaisselle récent plutôt que nettoyer à la main en laissant couler l'eau en continu.
En remontant à la source, il y a aussi des économies à faire... Régler le chauffe-eau entre 55 et 60 °C est suffisant pour éviter l'apparition de bactéries et limiter le dépôt de tartre. Poser une isolation sur les tuyaux de distribution permet de lutter contre les déperditions de chaleur. Et surtout, penser à arrêter le ballon d'eau chaude en cas de longue absence afin qu'il ne maintienne pas l'eau à température élevée pour rien.

5 Pourquoi débrancher les appareils en veille ?

Les équipements électriques et électroniques représentent le troisième poste de consommation d'énergie au domicile. En effet, les ménages en ont de plus en plus, une centaine en moyenne ! Et la plupart restent branchés en permanence. Or, même quand ils ne sont pas allumés, beaucoup sont gourmands en énergie. Les couper complètement de l'alimentation électrique quand on ne les utilise pas permet de réduire de 10 % la facture (toujours selon l'Ademe).
Il faut savoir qu'une box Internet consomme autant qu'un réfrigérateur ! Le plus simple, pour les chargeurs de portables et de tablettes ou pour les ordinateurs, c'est de les connecter à une multiprise que l'on éteint avec un seul interrupteur. Attention, par ailleurs, aux économiseurs d'écran qui n'économisent pas du tout l'énergie, surtout ceux avec des animations graphiques qui font tourner les ordinateurs que l'on croit en veille. ■

Plus d'infos sur le guide
La Face cachée du numérique :
www.ademe.fr/face-cachee-numerique

J'agis avec ENGIE

« Chez moi, tout est 100 % local.
Je peux faire pareil pour l'électricité ? »

Avec l'option Elec Vert+[1] dans votre contrat, c'est de

l'électricité 100 % verte produite en France.

3 € par mois.

Plus d'infos sur particuliers.engie.fr

ENGIE

L'énergie est notre avenir, économisons-la !

(1) Option Elec Vert+ de votre contrat électricité : ENGIE achète l'équivalent de la quantité d'électricité consommée par le client en électricité d'origine renouvelable et en Garanties d'Origine, directement auprès d'un groupe de producteurs d'électricité d'origine renouvelable dont les sites de production sont situés en France. Option résiliable à tout moment sans frais, avec effet à la fin du mois en cours. 3 € TTC par mois.

ENGIE : SA AU CAPITAL DE 2 435 285 011 € - RCS NANTERRE 542 107 651. © Getty Images, Stocksy.

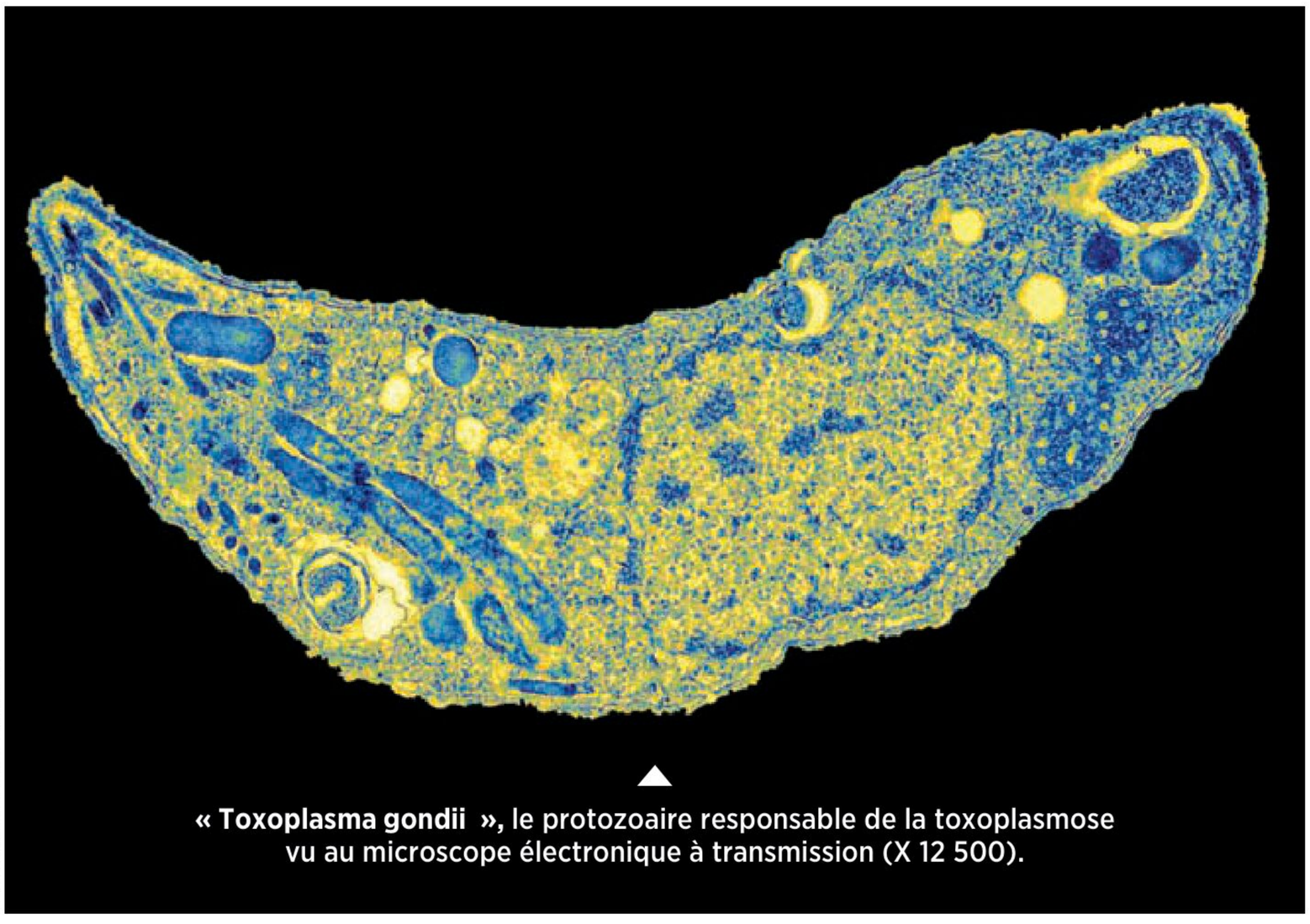
SCIENCES ET AVENIR La Recherche

Toxoplasmose, le rôle des pères en question

Cette maladie parasitaire pourrait affecter le fœtus par l'intermédiaire du génome des pères infectés. Une découverte troublante effectuée sur des rongeurs. Et chez l'humain ?

Par Hervé Ratel

GEMMA FERRANDO/DEEPOL/PLAINCPICTURE



DR KLAUS BOLLER/SPL/PHANIE

« Toxoplasma gondii », le protozoaire responsable de la toxoplasmose vu au microscope électronique à transmission (X 12 500).

IL Y A CINQ À SEPT CHANCES SUR DIX que vous soyez infecté par le toxoplasme. Vous l'ignoriez ? C'est normal, nous sommes beaucoup dans ce cas. Pour la majorité de la population, la présence de *Toxoplasma gondii* n'est pas recherchée. Le test sérologique qui atteste que nous avons été au contact du toxoplasme et sommes vraisemblablement porteurs d'une forme persistante du parasite n'est effectué systématiquement en France que chez la femme enceinte. En effet, une infection de la mère durant la grossesse peut entraîner des pathologies graves chez le fœtus, voire sa mort *in utero*. Or, jusqu'à présent, les chercheurs estimaient que ces problèmes de santé ne pouvaient surve-

Chez les femmes enceintes, le test de dépistage de la toxoplasmose est obligatoire, car celle-ci peut provoquer de graves troubles chez le fœtus.

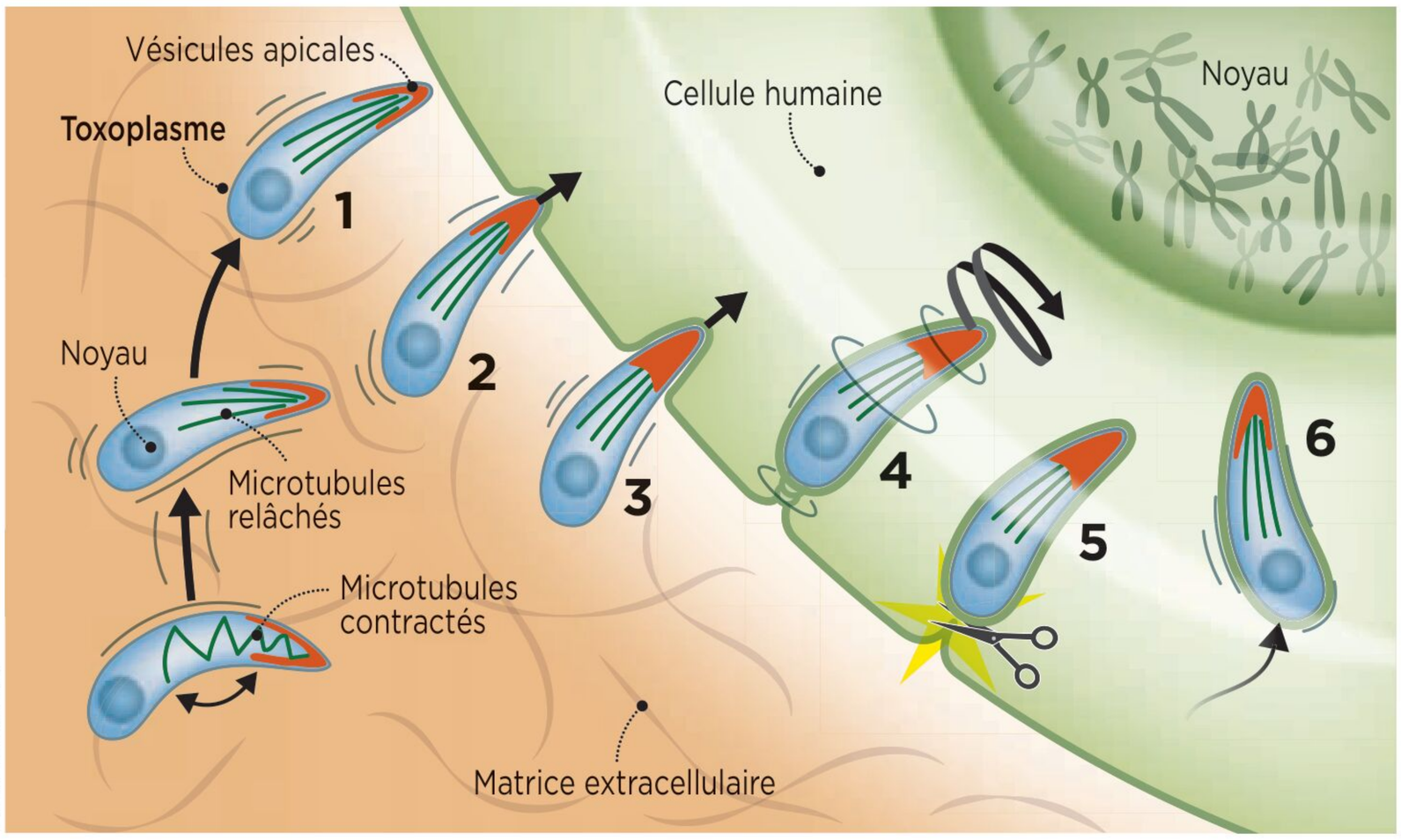
nir que si le parasite se trouvait effectivement dans l'organisme et s'y multipliait. Coup de tonnerre ! Des recherches viennent de montrer que sa dangerosité peut se faire également sentir quand il est absent… par l'empreinte qu'il aurait laissée dans le génome de la lignée paternelle. C'est la conclusion d'une étude troublante réalisée sur des souris par des chercheurs australiens de l'université de Melbourne et publiée récemment dans *Cell Reports*. Ils y démontrent que des mâles porteurs du parasite peuvent engendrer des petits qui ne sont pas infectés mais connaîtront pourtant en grandissant des problèmes comportementaux et de développement cérébral liés au parasite présent dans les testicules du père. Comme si les souriceaux avaient été affectés par le fantôme du toxoplasme paternel. Une première.

« Même s'il faut rester prudent car ces résultats ont été obtenus sur un modèle animal, ce travail est très novateur et ouvre des perspectives sur l'impact à distance du parasite sur les cellules et tissus hôtes », juge Isabelle Tardieux, directrice de recherche CNRS à l'Institut pour l'avancée des biosciences à l'université de Grenoble. Pour comprendre, il faut rappeler que jusqu'alors, les sources les plus fréquentes d'infection répertoriées étaient la consommation d'aliments contaminés (viande crue ou peu cuite, lait cru de chèvre ou végétaux mal lavés) ainsi que les contacts avec les chats qui sont des hôtes asymptomatiques du parasite. Le toxoplasme étant excrété dans les fèces, il est déconseillé aux femmes enceintes de nettoyer la litière de ces animaux. En cas de contamination, les conséquences sur les personnes bien ▸

ÉPIDÉMIOLOGIE

Une répartition mondiale mais inégale

La prévalence de l'infection varie énormément d'une région à l'autre. Allant de 0 % en Alaska à 70 % à Tahiti. Elle est très faible en Asie du Sud-Est et au Japon (4 à 14 %) sans doute parce que la viande y est consommée très cuite. Ces différences dépendent également du taux d'infection des chats et des précipitations. Plus le sol est humide, plus il risque d'héberger le parasite. En France, le toxoplasme infecte entre 50 et 70 % de la population. Le dépistage y est obligatoire depuis 1978 pour les femmes enceintes. On dénombre entre 700 et 2700 cas par an de fœtus infectés.



BRUNO BOURGEOIS

STRATÉGIES

Un parasite, roi de l'effraction

Lorsqu'il infecte une cellule, *Toxoplasma gondii* déploie un arsenal stupéfiant. Étudié à l'aide de microscopie de haute résolution par Isabelle Tardieux, directrice de recherche CNRS à l'Institut pour l'avancée des biosciences (Grenoble) et son équipe, le parasite a révélé, en juin 2020, le mécanisme ingénieux lui permettant de naviguer dans les matrices extracellulaires. D'abord, il s'ancre et prend appui sur ces dernières. Puis, comme un gymnaste aux barres parallèles, il se contracte grâce au système de ressort de son cytosquelette. Il peut alors, en se détendant, bondir en avant (1, 2). Une fois près de la paroi d'une cellule, il met en œuvre une autre de ses armes, élucidée là encore par l'équipe française dans la revue *Cell Host & Microbe* de juin 2018. Après avoir injecté dans la membrane de la cellule un nanodispositif fait de protéines pour former un pore (minuscule orifice), il s'y engouffre (3). Puis, le toxoplasme tourne sur lui-même, fermant la porte derrière lui (4). Ce faisant, il s'isole dans une petite poche protectrice constituée de la membrane de la cellule hôte et qu'il aménage comme une niche pour produire sa descendance (5, 6). Ce qui en fait un véritable Arsène Lupin microscopique. *« Grâce à cette stratégie basée sur des forces mécaniques, le toxoplasme peut pénétrer n'importe quelle cellule nucléée, une caractéristique assez remarquable pour un microbe intracellulaire ! »*, s'émerveille Isabelle Tardieux.

portantes sont bénignes, les cas restant asymptomatiques 8 fois sur 10. Ce qui n'est pas le cas pour les sujets immunodéprimés (dont le système immunitaire est défaillant) comme ceux suivant une chimiothérapie anticancer ou un protocole antirejet pour une transplantation d'organes ou encore les malades du sida pour qui les conséquences sont dangereuses. *« La toxoplasmose cérébrale a d'ailleurs été une des causes principales de décès chez ces patients avant les trithérapies »*, précise Isabelle Tardieux.

Entre 50 et 70 % de la population

en France est infectée. Le dépistage est obligatoire depuis 1978 pour les femmes enceintes. On dénombre entre 700 et 2700 cas par an de fœtus infectés.

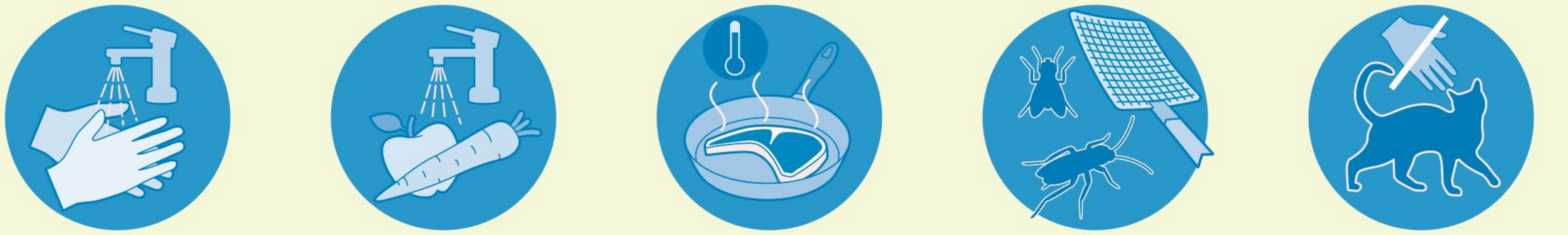
Le parasite est également délétère pour le fœtus d'une mère infectée pour la première fois, laissant ainsi à *Toxoplasma* la possibilité de traverser le placenta et de coloniser l'enfant qu'elle porte. La maladie entraîne alors dans 10 % des cas des atteintes graves au cerveau du fœtus (microcéphalie, hydrocéphalie) ou aux yeux, les lésions pouvant entraîner une cécité à l'âge adulte. Mais, il se pourrait donc que l'influence du toxoplasme soit bien plus vaste et dépasse les limites de la simple contamination maternelle comme le suggèrent les travaux australiens. Ceux-ci montrent en effet que l'ADN du sperme de souris infectées est modifié par la présence du parasite. Cette modification ne se situe pas au niveau génétique mais épigénétique. Autrement dit, elle ne touche pas les gènes eux-mêmes mais les petites étiquettes qu'ils portent à leur surface et qui spécifient leur statut, actif ou inactif. Depuis quelques années, l'influence des étiquettes épigénétiques a été de mieux en mieux documentée. Les chercheurs savent aujourd'hui qu'elles changent au cours de l'existence, en fonction du parcours de vie de l'individu et de ses habitudes, les bonnes comme les mauvaises (alcool, tabac, alimentation, traumatisme...).

Transmission à la génération suivante

Les conséquences sur la santé sont de plus en plus reconnues, étant associées à nombre de maladies comme certains cancers, des diabètes ou encore des troubles mentaux. Or les chercheurs ont ainsi observé sur des souriceaux issus de géniteurs mâles infestés des changements comportementaux majeurs notamment la façon de se déplacer dans les labyrinthes où ils ont été testés. Moins curieux, plus anxieux, moins portés à explorer des endroits nouveaux, ces animaux ne sont pourtant pas porteurs du toxoplasme. Encore plus troublant, l'effet semble perdurer et se transmettre... à la génération suivante. *« Nous avons été stupéfaits de constater que même les "petits-enfants" du premier mâle infecté manifestent des changements comportementaux »*, avoue Shiraz Tyebji, de l'université de Melbourne.
Ce qui fait craindre aux chercheurs que leurs conclusions puissent s'appliquer à l'être humain. Comme le souligne le

PRÉVENTION

5 conseils aux femmes enceintes et personnes immunodéprimées



1 SE LAVER LES MAINS fréquemment avec du savon.

2 NETTOYEZ LES LÉGUMES, les plantes aromatiques et les fruits à l'eau pour enlever toute trace de terre pouvant avoir été contaminée.

3 FAIRE CUIRE LA VIANDE, faire bouillir le lait cru, évitez les crustacés et les œufs crus.

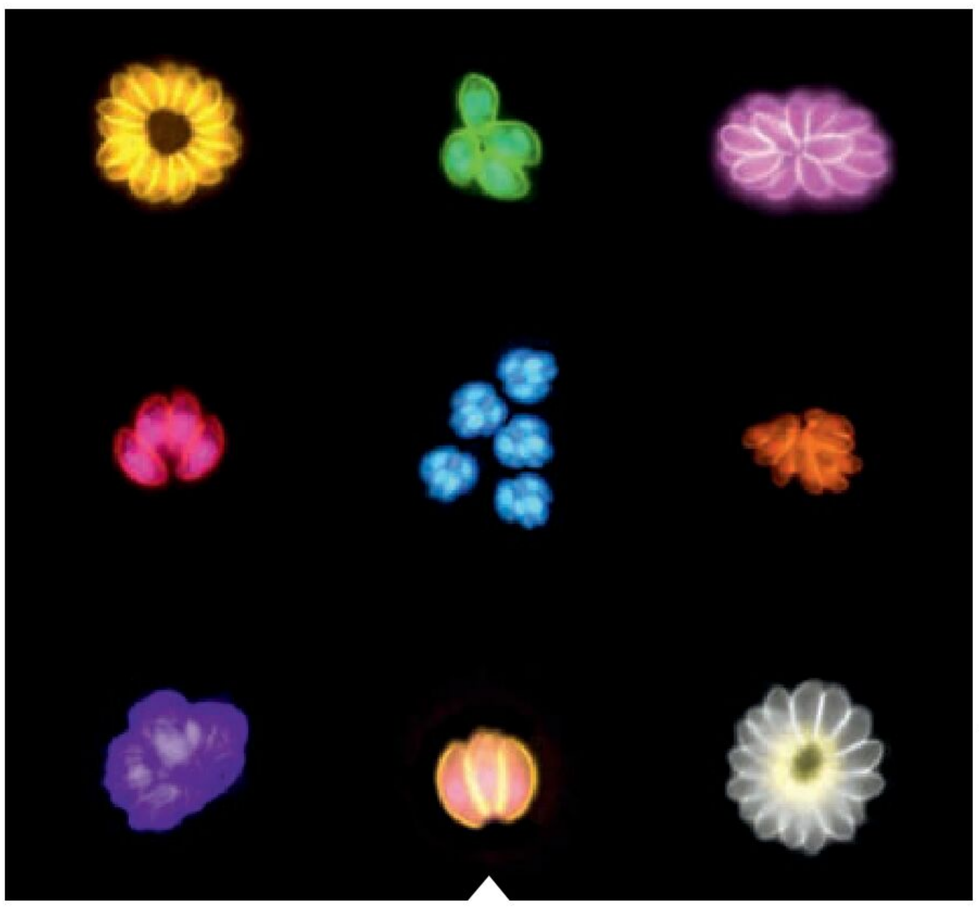
4 ÉLIMINER LES BLATTES et les mouches susceptibles de contaminer les aliments avec leurs oocystes (œufs).

5 ÉVITEZ D'ENTRER EN CONTACT AVEC DES CHATS susceptibles de sortir ainsi que de nettoyer leur litière. Traitez les animaux avec du Taltozuril.

BRUNO BOURGEOIS

chercheur australien : « *Si plusieurs travaux ont montré par le passé que l'infection par le toxoplasme* in utero *était associée à un risque élevé pour l'être humain de développer des problèmes neuropsychiatriques au cours de l'existence, aucune étude n'a encore évalué l'effet de l'infection paternelle.* » Pourtant, ces effets pourraient apparaître majeurs s'ils étaient analogues à ceux observés chez la souris : que l'animal soit réellement infecté ou qu'il ait juste hérité des conséquences de l'infection par le père ou le grand-père, les modifications neurodéveloppementales et comportementales semblent du même ordre. « *Même si nos résultats ont été obtenus chez la souris*, dit Anthony Hannan, l'un des auteurs de l'étude, *ils soulèvent des questions fondamentales concernant l'impact sur les enfants des infections paternelles. Normalement, les scientifiques considèrent uniquement comment les infections de la mère affectent son fœtus. Mais, peut-être serait-il temps de regarder également du côté du père…* »

Isabelle Tardieux se veut toutefois rassurante : « *Il faut faire la distinction entre l'infection par le toxoplasme de la souris, et des rongeurs en général, et celle de l'être humain. En effet, les premiers sont des hôtes naturels du cycle biologique du parasite, alors que le second n'est qu'une impasse évolutive. C'est pour cela qu'il est extrêmement rare qu'une contamination d'un être humain à un autre se produise, sinon* in utero. » La chercheuse reconnaît toutefois que le comportement de ce parasite demeure largement méconnu. Tout comme ses effets potentiels lorsqu'il parvient à traverser la barrière hémato-encéphalique pour coloniser le cerveau de son hôte et y exprimer des programmes génétique et épigénétique qui permettent sa persistance, ou encore ses capacités à naviguer au sein de tissus et de compartiments vasculaires et à y résider.



SIMONA SEIZOVA/THE WALTER AND ELIZA HALL INSTITUTE OF MEDICAL RESEARCH

Le parasite forme des motifs floraux appelés rosettes dans les tissus qu'il infecte.

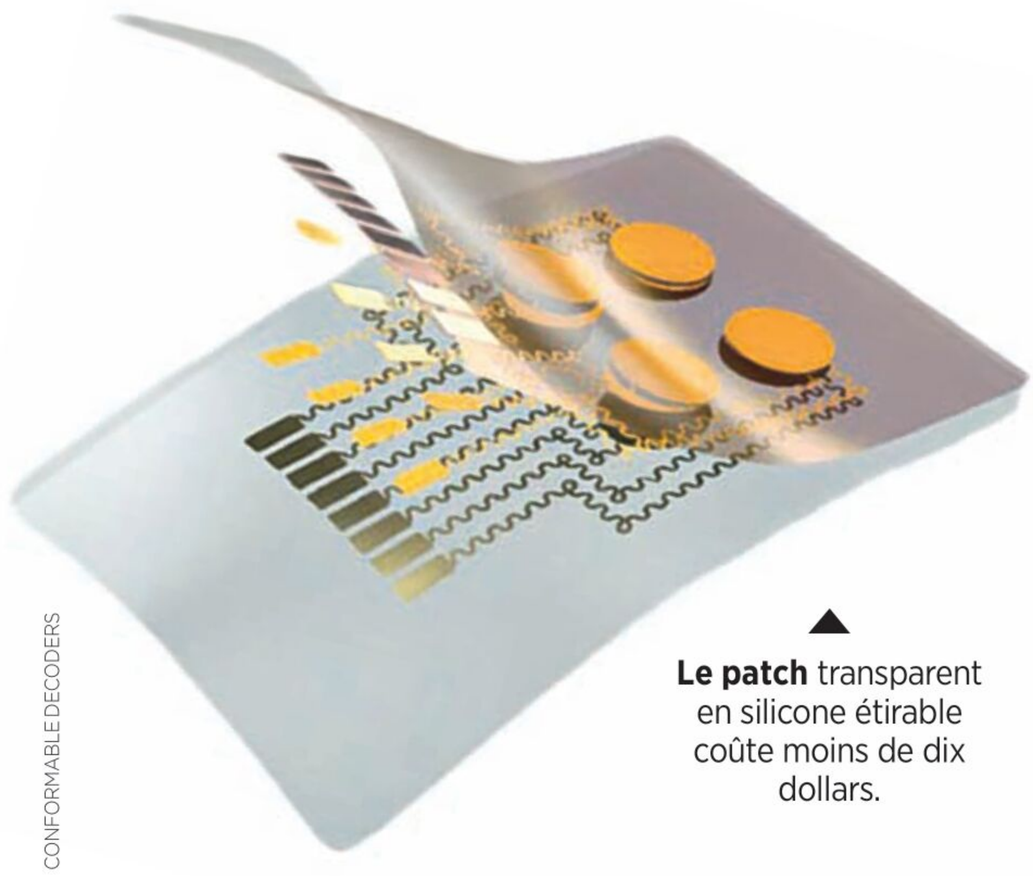
Un manque de données épidémiologiques

Les chercheurs ignorent également comment il peut évoluer chez des personnes âgées : « *Nous manquons de données épidémiologiques qui permettraient d'analyser s'il existe des corrélations entre la présence de* Toxoplasma *et le développement des pathologies du grand âge, mais plus encore, nous manquons de tests sérologiques fiables pour détecter la présence de* Toxoplasma *persistant dans des tissus comme le cerveau.* » Bref, bien que connu et étudié depuis plus d'un siècle, et en dépit d'une dissémination mondiale, le toxoplasme garde bien des mystères. Qu'il puisse provoquer des maladies sur un organisme, alors même qu'il en serait totalement absent et, de plus, que cette influence soit capable de persister sur plusieurs générations, n'est pas le moindre d'entre eux… ■

Un patch redonne la parole aux malades de la SLA

Ce dispositif innovant permettrait aux patients atteints de la maladie de Charcot (SLA) de traduire les infimes mouvements du visage en mots simples par un ordinateur.

« KEEP TALKING *(continuer de parler)* », insistait Stephen Hawking avec le groupe Pink Floyd en 2014. Le célèbre astrophysicien britannique, décédé à 76 ans en 2018 d'une sclérose latérale amyotrophique (SLA), évoquait avec cette chanson l'un des nombreux handicaps majeurs provoqués par cette affection : les difficultés de communication avec l'entourage, tous les muscles se paralysant peu à peu avec l'évolution de la maladie. Si le pronostic reste lourd malgré les traitements disponibles, des améliorations décisives pourraient venir de la thérapie génique, *« un espoir gigantesque dans un avenir que l'on espère proche »*, résume le Pr William Camu, responsable du centre de référence de la SLA au CHU de Montpellier *(lire ci-dessous)*.



CONFORMABLE DECODERS

Le patch transparent en silicone étirable coûte moins de dix dollars.

Pour l'heure, les recherches se tournent aussi vers les soins de soutien au moyen d'appareils et d'accessoires fonctionnels voire de dispositifs plus invasifs comme une neuroprothèse *(lire p. 28)*, et nul doute que Stephen Hawking aurait aimé expérimenter le dispositif innovant mis au point par le laboratoire du Massachussetts Institute of Technology (MIT), à Cambridge (États-Unis). Un patch transparent de silicone étirable et discret — bien que truffé de technologie —, récemment décrit dans une étude publiée dans la revue *Nature Biomedical Engineering*. En pratique, il se colle sur la joue du patient souffrant de troubles de l'articulation (dysarthrie) pour lui permettre de mieux communiquer avec ses proches. Des capteurs piézoélectriques, ayant la propriété de produire un courant électrique lorsqu'ils sont mécaniquement déformés, ont été intégrés sur le mince film en silicone. L'enjeu étant de traquer la moindre cinétique musculaire résiduelle sur le visage des patients pour la traduire en mots simples par un ordinateur.

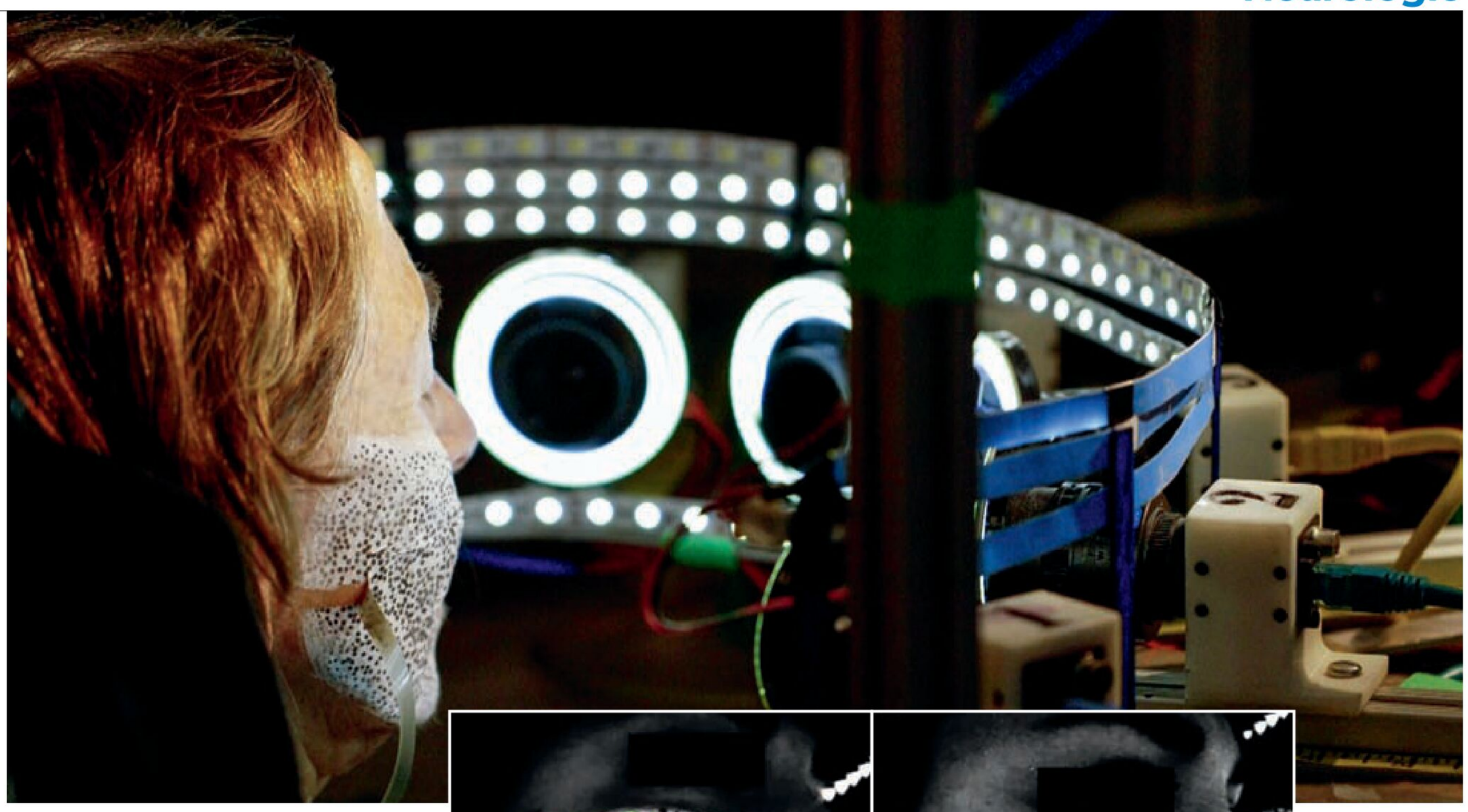
Inspiré en partie des travaux de Stephen Hawking

« S'il n'avait pas disparu, Stephen Hawking — avec qui nous collaborions — aurait été le premier malade à tester ce patch, rappelle Canan Dagdeviren, bioingénieure, responsable du laboratoire. *Imaginez un monde où une simple contraction musculaire du visage permettrait d'envoyer un mail et d'être en lien avec son entourage »*, résume la chercheuse. Peu coûteux — sa fabrication revenant à environ 10 dollars —, le patch devrait permettre aux malades de s'affranchir des lourds et onéreux moyens dits de communication alternative améliorée (CAA) actuelle-

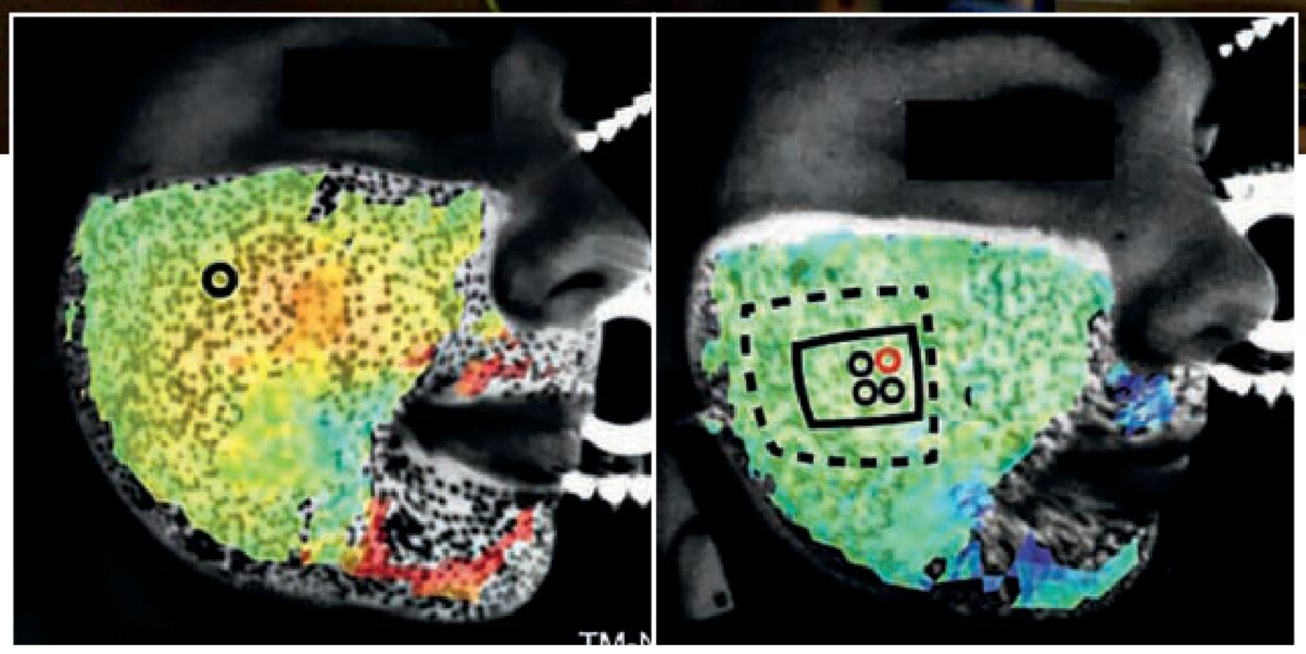
THÉRAPIE GÉNIQUE

Cibler une protéine qui attaque les neurones moteurs

Les chercheurs ont établi que si la protéine SOD1 — normalement présente dans le cerveau — se replie de manière anormale, elle devient toxique pour les neurones moteurs (motoneurones). Tel est le mécanisme sous-jacent à la plupart des formes de SLA. Par conséquent, bloquer le gène responsable de sa synthèse est aujourd'hui le but visé par la thérapie génique. *« C'est un espoir majeur,* résume le Pr William Camu, responsable du centre de référence de la SLA au CHU de Montpellier. *Des essais américains sur des modèles animaux qui utilisent un adénovirus délivrant un micro-ADN pour bloquer le gène en une unique injection intraveineuse sont très encourageants et ont fait disparaître la maladie, même chez des animaux déjà paralysés. »* Les essais sur les humains viennent tout juste de démarrer. Autre approche : celle d'une molécule (Tofersen, laboratoires Biogen) nécessitant elle des injections tous les deux mois dans le canal rachidien. Des tests prometteurs ont été conduits sur des patients mais le laboratoire américain n'a pas encore déposé de demande d'autorisation de mise sur le marché.



CONFORMABLE DECODERS



Les capteurs piézoélectriques du dispositif, placé sur la joue du patient, produisent de l'électricité lorsqu'ils se déforment. Le moindre mouvement musculaire est ainsi enregistré (comme ici lorsque la personne sourit, contracte les joues, prononce des lettres) et transmis à un ordinateur qui traduit ces signaux électriques en mots simples.

ment utilisés, allant du tableau de communication avec symboles aux logiciels (tels que GRID 3) aux dispositifs d'aide à la parole plus encombrants (bras articulés, écrans...). Ici, les chercheurs américains ont choisi l'option « légèreté » et se sont en partie inspirés des travaux du physicien britannique qui, cloué dans un fauteuil roulant depuis des années et atteint d'une forme de SLA exceptionnellement lente, utilisait un dispositif qu'il avait lui-même conçu, déjà en partenariat avec le MIT. Dix ans avant sa mort, son état s'étant dégradé, il s'était équipé d'un capteur infrarouge fixé sur ses lunettes. Ainsi, alors que seuls quelques muscles de son visage disposaient encore d'un peu de mobilité, son système ACAT (Assistive Context-Aware Toolkit) rendait possible la saisie de texte : en contractant sa joue lorsque le curseur était sur la bonne lettre, il pouvait saisir du texte sur un ordinateur.

Pour tester son patch, l'équipe a d'abord travaillé avec des volontaires sains, filmés pendant qu'on leur demandait de sourire, contracter la joue, prononcer différentes lettres. Les images ont ensuite été traitées par différents logiciels et les mesures traduites en un algorithme capable de faire la distinction entre un sourire, une bouche ouverte, des lèvres pincées. Dans un second temps, l'algorithme a été testé avec succès sur deux patients atteints de SLA. Reste maintenant à mener à bien une étape importante : la création, sur la base de ces mouvements faciaux détectables, d'une « bibliothèque » de phrases ou de mots associés aux différentes combinaisons de ces mouvements.

Ce patch aidera-t-il de nombreux malades ? « *Sans doute assez peu en France*, estime le Pr Camu, *car les trachéotomies y sont nettement moins fréquemment pratiquées qu'aux États-Unis. De plus, l'évolution de la SLA est très rapide : moins de 10 % des patients survivent avec des handicaps majeurs nécessitant de tels équipements.* » Michel, 73 ans, salue quant à lui l'innovation du MIT mais attend de voir. « *Nous, les malades, n'avons pas forcément besoin de dispositifs sophistiqués. Par contre, avoir autour de soi une personne bricoleuse, voilà qui nous aide toujours.* » Pour continuer à échanger et à parler aussi longtemps que possible. ■ **Sylvie Riou-Milliot**

LA MALADIE

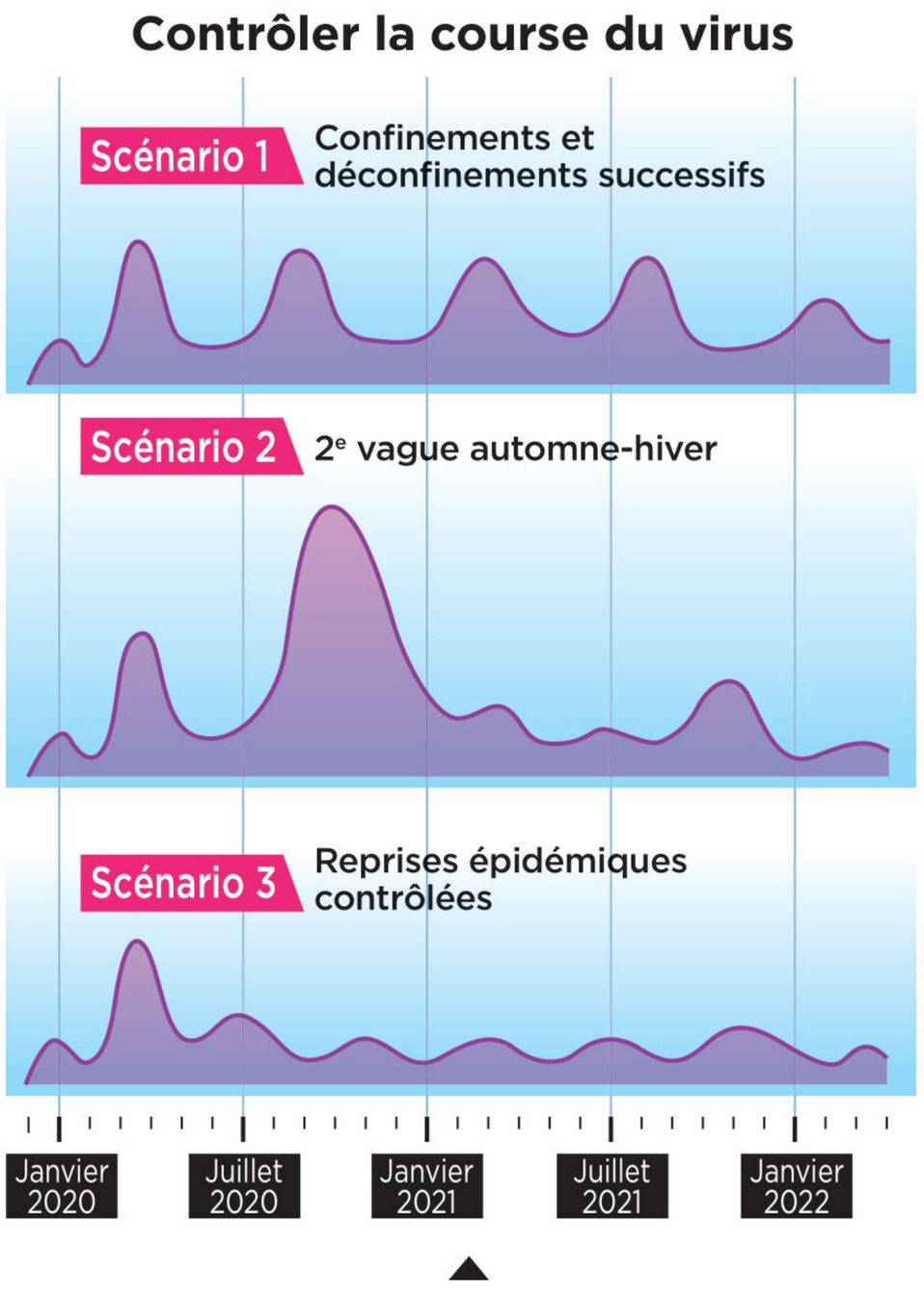
Sclérose latérale amyotrophique
(maladie de Charcot)

- Dégénérescence des motoneurones, neurones impliqués dans le mouvement.
- Difficultés pour écrire, marcher, parler, respirer.
- **150 000** malades dans le monde, 6000 en France.
- **90 %** des SLA sont d'origine inconnue, 10 % sont des formes génétiques, familiales
- Âge moyen au moment du diagnostic : **60 ans.**
- Survie entre **trois et cinq ans** après le diagnostic.

Covid-19 : 7 scénarios pour contrer les prochaines vagues

Confinement alterné, restriction pour les personnes fragiles… En attendant un potentiel vaccin, les différentes stratégies pour affronter le virus devront trouver un équilibre entre le risque de saturation du système de soins et celui d'un effondrement économique.

LE 9 NOVEMBRE, l'annonce a fait l'effet d'une bombe : le laboratoire américain Pfizer et l'allemand BioNTech ont affirmé que, selon des résultats préliminaires, leur candidat vaccin testé sur plus de 40 000 personnes serait efficace à 90 % ! Prudence toutefois, les données ne sont pas encore publiées. Mais si une telle efficacité se confirmait, cela rendrait possible une atténuation de la crise d'ici à quelques mois *(lire point 7)*. Mais en attendant, il faut se préparer à l'après second confinement. La virulence du virus en saison froide oblige à anticiper les différents scénarios pour résister au risque réel de vagues successives *(voir l'infographie ci-contre)*. Il s'agit de trouver l'équilibre le plus viable possible entre le risque de saturation du système de soins et celui d'effondrement économique qui s'accompagne aussi d'effets délétères. Voici les clés pour comprendre les implications des différentes options envisagées.



Ces scénarios de l'université du Minnesota (États-Unis) montrent la physionomie des vagues épidémiques successives selon l'efficacité des mesures de contrôle du virus et de la saison.

1 Se préparer à des confinements successifs

Des mesures de distanciation qui durent, ponctuées de reconfinements et déconfinements au gré des vagues successives de l'épidémie tout au long de l'hiver et du printemps. C'est l'ombre de ce scénario décrit par *Sciences et Avenir* dès avril *(voir n° 879)* qui plane aujourd'hui sur notre incapacité à contrôler l'épidémie. Outre les conséquences économiques durables, le coût humain est aussi très élevé. Près de 23 000 décès en France, hors cas de Covid, seraient déjà imputables à la crise selon une étude internationale publiée dans *Nature Medicine* : retard de soins, dépression, suicide, précarité… Au vu de son coût pour la société, la stratégie du « stop and go » n'en est donc pas vraiment une. Car le confinement signe surtout l'échec collectif d'un contrôle de l'épidémie à moindres frais, possible quand le taux de contaminations est suffisamment bas.

2 Se confiner en alternance

Originale, l'option d'un confinement « alterné » vient d'être évaluée par des chercheurs israéliens. Il s'agirait de diviser la population en deux groupes qui se confineraient tour à tour, une semaine sur deux. Selon les modélisations effectuées, l'alternance aurait une efficacité comparable à un confinement strict s'appliquant pour 75 à 80 % de la population. « *Cela réduit par quatre la contamination. Car chaque personne n'est que la moitié du temps dehors, et elle ne peut rencontrer que la moitié de la population* », explique Nava Schulman, coauteure de l'étude. Autre avantage : si une personne se contamine en milieu ou fin de sa semaine déconfinée, elle aura moins de risque de transmettre la maladie puisque les premiers symptômes apparaîtront pendant sa semaine de confinement. Séduisante sur le papier, cette stratégie paraît hélas ! difficile à mettre en œuvre : comment constituer les deux groupes pour concilier les impératifs fami-

RAPHAËL HELLE/SIGNATURES - PHANIE

Alterner déconfinement et confinement est un scénario par défaut, car il marque l'incapacité à contrôler l'épidémie par d'autres mesures (ici Besançon).

liaux avec la gestion des effectifs dans les entreprises ou les écoles ? Aucun pays n'a jusqu'ici opté pour cette approche.

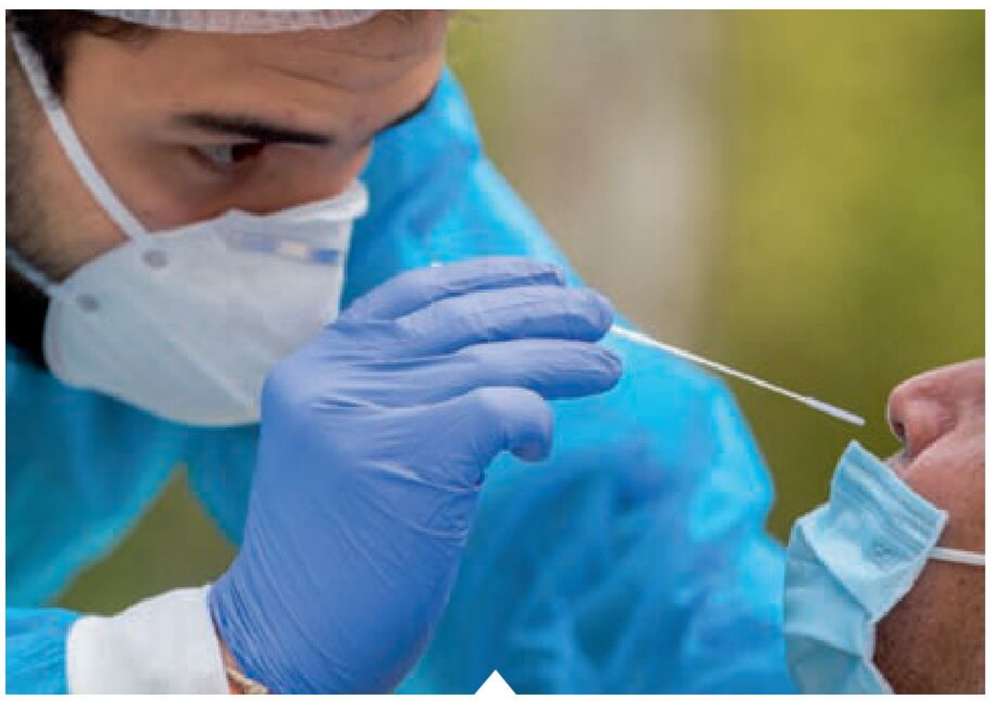
3 Ne confiner que les personnes fragiles

Confiner les seules personnes fragiles, que ce soit en raison de leur âge ou de problèmes de santé préexistants (diabète, maladie cardiaque, etc.) permettrait à la fois de les protéger et de limiter la saturation du système de soins. Mais l'idée, qui concernerait 22 millions de personnes environ en France, est très impopulaire. Et pour cause, interdire la libre circulation d'un citoyen en raison de son âge ou de son état de santé — lequel relève par ailleurs du secret médical — constituerait une « rupture d'égalité ». D'où l'idée d'encourager un « autoconfinement » strict sur la base du volontariat.

Dans un document publié le 2 juin, le Conseil scientifique détaillait un protocole pour l'encourager : évaluation du risque individuel par le généraliste, aides à domicile, arrêts maladie, etc. Si l'approche *« ne permet pas de contrôler l'épidémie, elle est indispensable pour en réduire les effets [...] et limiter la saturation du système de soins »*. Mais là aussi, l'impact sociopsychologique est à prendre en compte. Sans compter que l'étanchéité entre les personnes à risque et les autres est difficile à garantir.

4 Supprimer la circulation du virus sur le territoire

Grâce à des mesures fortes très précoces, certains pays parviennent à maintenir un taux de contamination très faible : fermeture des frontières, quarantaine obligatoire, confinement strict dès l'apparition de nouveaux cas, organisation des mesures de dis-



Tester à grande échelle, comme c'est le cas aujourd'hui, ne peut suffire en soi : il faut également tracer et bien isoler les malades.

FRÉDÉRIC SCHEIBER/HANS LUCAS/AFP

tanciation, application de traçage obligatoire, et campagnes de tests ciblées et massives... La Corée du Sud, le Japon, Singapour, l'Australie ou la Finlande enregistrent ainsi moins de 500 cas par jour. La Nouvelle-Zélande est même parvenue à éliminer le virus. Après un premier confinement national décrété en mars avec moins de 500 cas sur le territoire, les 1,5 million d'habitants de la ville d'Auckland ont été reconfinés trois semaines en août pour seulement quatre cas positifs détectés !

« En frappant fort sans attendre, on peut espérer avoir un impact plus important sur la dynamique de l'épidémie et au final mieux protéger la population et l'économie que si on laisse la situation se dégrader avec des réponses tardives et insuffisantes », rappelle le Conseil scientifique qui avait mis en garde contre la reprise épidémique dès le mois d'août en France. La stratégie nécessite une grande réactivité, avec des restrictions sanitaires strictes prises à la moindre reprise, lorsque le risque est encore peu perceptible.

5 Rechercher l'immunité collective naturelle

C'est un serpent de mer depuis le début de la pandémie : laisser le virus circuler chez les personnes les moins à risque pour constituer une immunité collective qui ralentirait voire arrêterait l'épidémie. Une stratégie souvent attribuée à la Suède, à tort. Si le pays n'a effectivement pas imposé de confinement ou le port du masque, il a adopté de nombreuses autres mesures contraignantes en vigueur depuis des mois (interdiction des rassemblements de plus de 50 personnes, fermeture des frontières, télétravail...). L'objectif n'est pas d'obtenir une immunité collective mais de ralentir la progression du virus sans confiner. L'Institut Pasteur a montré que laisser circuler le virus pour obtenir une immunité collective de l'ordre de 50 % en France, entraînerait le décès d'au moins 100 000 personnes en quelques mois.

6 Réussir la stratégie tester/tracer/isoler

Avec le respect strict des gestes barrières, c'est la condition même de toutes les stratégies pour contenir l'épidémie : tester, tracer et isoler les malades et les cas contacts. Elle est appliquée en France (1,5 million de tests par semaine) comme partout en Europe. Mais ici comme ailleurs, la deuxième vague poussée par l'arrivée de la saison froide a fini par déborder les capacités de traçage. Dans son avis du 28 octobre précédant la décision du gouvernement de reconfiner le pays, le Conseil scientifique appelle ainsi à *« tirer les leçons du relatif échec de cette stratégie [...] pour l'optimiser »*. Au sortir de la deuxième vague *« en fin d'année ou début 2021 »*, et pour empêcher une troisième en février ou mars, il faudrait favoriser voire contrôler l'auto-isolement des personnes, ainsi que des moyens *« largement augmentés en particulier en effectifs humains avec les équipes mobiles "brigades", et la mise en place de l'application Tous*

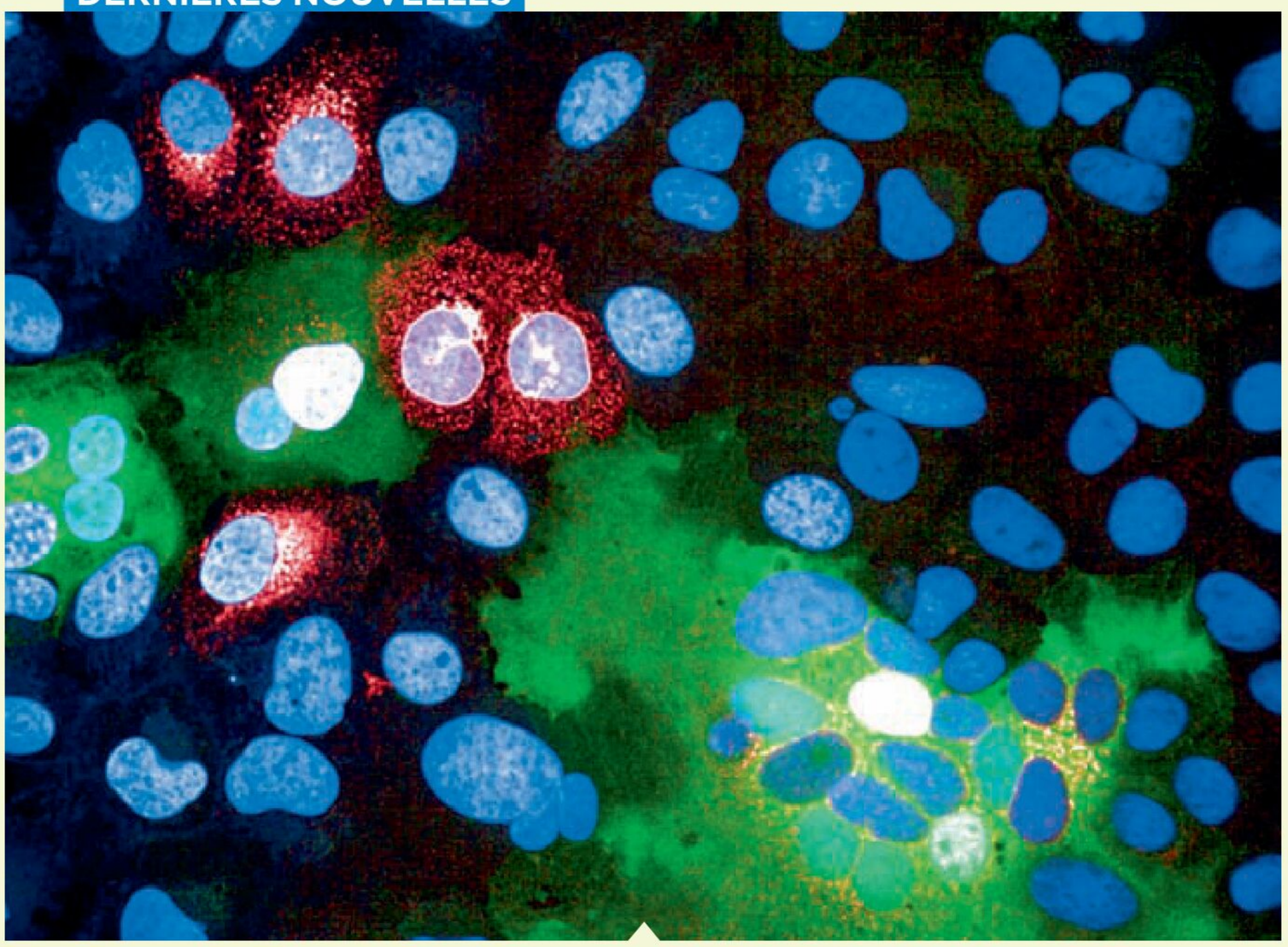
Anticovid sur une large fraction de la population. » Car malgré un manque important d'efficacité et de précision due à la technologie Bluetooth utilisée, l'application fonctionne. Les modélisations montrent qu'avec une adoption par 30 % de la population, « *chaque personne se déclarant comme un cas de Covid-19 permettrait à 37 % de ses contacts de ne pas retransmettre le virus* ». En novembre, moins de 10 millions de personnes l'avaient téléchargée. Enfin, le déploiement des tests antigéniques — qui donnent un résultat en 30 minutes — doit se poursuivre largement chez les médecins généralistes et dans les pharmacies de façon à fluidifier au maximum le dépistage.

7 Vacciner !

90 % d'efficacité. Tel est le score que le laboratoire américain Pfizer et la biotech allemande BioNTech ont communiqué pour leur candidat vaccin. Si des résultats plus précis et détaillés de l'essai mené sur 40 000 personnes sont encore attendus, l'annonce conforte l'espoir de disposer de vaccins efficaces rapidement. Pfizer pourrait fournir jusqu'à 100 millions de doses dans le monde d'ici à la fin de l'année et 1,3 milliard d'ici à fin 2021. L'Union européenne (450 millions d'habitants) a déjà précommandé 300 millions de doses. Pour l'heure, le monde est également suspendu aux résultats des neuf autres essais cliniques de phase 3 (sur l'humain) en cours. L'arrivée de vaccins efficaces constituerait en effet le meilleur des scénarios car elle permettrait de protéger au moins les personnes à risque et de réduire la pression sur les systèmes de santé. Las ! champions de la défiance, les Français sont à peine plus de 50 % à se déclarer prêts à se faire vacciner. ■

Hugo Jalinière @HugoJaliniere

DERNIÈRES NOUVELLES



BUCHRIESER ET AL, 2020

Les syncytias retrouvés dans les poumons des malades sont des amas de cellules (en vert) qui se regroupent avant de mourir en raison des protéines Spike (en rouge), les « piquants » du coronavirus.

La vitamine D pour mieux combattre l'infection

Plus de 80 % des malades de Covid-19 seraient carencés en vitamine D, à en croire une étude espagnole chez 216 patients, contre 47 % seulement de la population générale. Une surreprésentation de la maladie et de sa sévérité qui pourrait s'expliquer par l'effet positif souvent observé de la vitamine D sur l'immunité innée. Pour en avoir le cœur net, une étude britannique, CORONAVIT, a été lancée sur 5000 personnes outre-Manche pour tester ses bénéfices.

SOURCE : JOSÉ L HERNÁNDEZ ET AL., UNIVERSITÉ DE SANTANDER (ESPAGNE).

D'étranges cellules retrouvées dans les poumons

En autopsiant 41 victimes du Covid-19, des chercheurs italiens ont non seulement trouvé des lésions importantes aux poumons, mais aussi des amas de cellules peu communs : des syncytias. Ils seraient dus à la protéine Spike du virus qui conduit les cellules infectées à se regrouper avant de mourir. Ce phénomène pourrait mieux expliquer les problèmes d'inflammation et de coagulation sanguine.

SOURCE : ROSSANA BUSSANI, UNIVERSITÉ DE TRIESTE (ITALIE).

Le mystère se lève sur l'immunité des enfants

La concentration d'anticorps chez les enfants est plus faible que chez les adultes, alors que les enfants sont moins souvent malades. Une étude américaine montre même que ces anticorps sont aussi moins efficaces ! La faiblesse de cette réponse immunitaire acquise indique que c'est l'immunité innée des enfants, bien plus efficace que celle des adultes, qui les protégerait (*voir* S. et A. *n° 885*).

SOURCE : DONNA L. FABER, UNIVERSITÉ COLUMBIA, NEW YORK (ÉTATS-UNIS).

Le spectre d'une mutation animale du virus

Le Danemark a abattu la totalité des 17 millions de visons élevés dans le pays après avoir découvert une série de mutations dans le coronavirus Sras-Cov-2 que l'humain leur avait transmis. Surtout, il apparaît qu'en retour, 12 personnes ont contracté le Covid-19 au contact des mustélidés dans cinq élevages du pays. Or les mutations observées chez ces animaux pourraient — en théorie — modifier le coronavirus de telle sorte que les vaccins en cours de développement seraient inefficaces contre ces nouvelles souches.

Mucoviscidose, à la recherche du souffle perdu

Un nouveau traitement très efficace soulage les poumons des patients atteints par cette maladie génétique. À l'occasion du Téléthon 2020, les 4 et 5 décembre, le point sur les recherches en cours.

« MALHEUR À L'ENFANT EMBRASSÉ *sur le front qui aurait un goût salé. Il est ensorcelé et doit bientôt mourir.* » Cette malédiction du XVIe siècle est l'une des plus anciennes mentions de la mucoviscidose. La sagesse populaire l'ignorait, mais la sueur très salée de ces enfants — alors effectivement condamnés — était due à cette maladie génétique rare qui touche aujourd'hui 70 000 personnes dans le monde, dont plus de 6000 en France. Elle se caractérise par un épaississement et une viscosité du mucus qui obstrue peu à peu les voies digestives et surtout respiratoires. Sans prise en charge, c'est la mort infantile. Mais ces cinquante dernières années, la malédiction a été en partie brisée : l'espérance de vie à la naissance est passée de sept ans en 1965 à plus de cinquante ans aujourd'hui. Cette année, un nouveau traitement très efficace a même connu un processus d'autorisation de mise sur le marché accéléré. Le Trikafta, développé par les laboratoires américains Vertex, a ainsi obtenu le feu vert de l'agence américaine du médicament (FDA) aux États-Unis, avant même la publication — intervenue quelques jours plus tard — de deux essais cliniques décisifs dans le *New England Journal of Medicine* et *The Lancet*. « *Une percée formidable et une grande nouvelle !* », célébrait alors Preston Campbell, président de la Fondation américaine de la mucoviscidose. Pour Francis Collins, patron des Instituts nationaux de la santé des États-Unis (NIH), cette trithérapie (association des trois molécules élexacaftor-tézacaftor-ivacaftor) procure des « bénéfices impressionnants » par rapport à ce qui existait jusqu'à présent.

70 000
malades dans le monde
dont plus de
6000
en France.

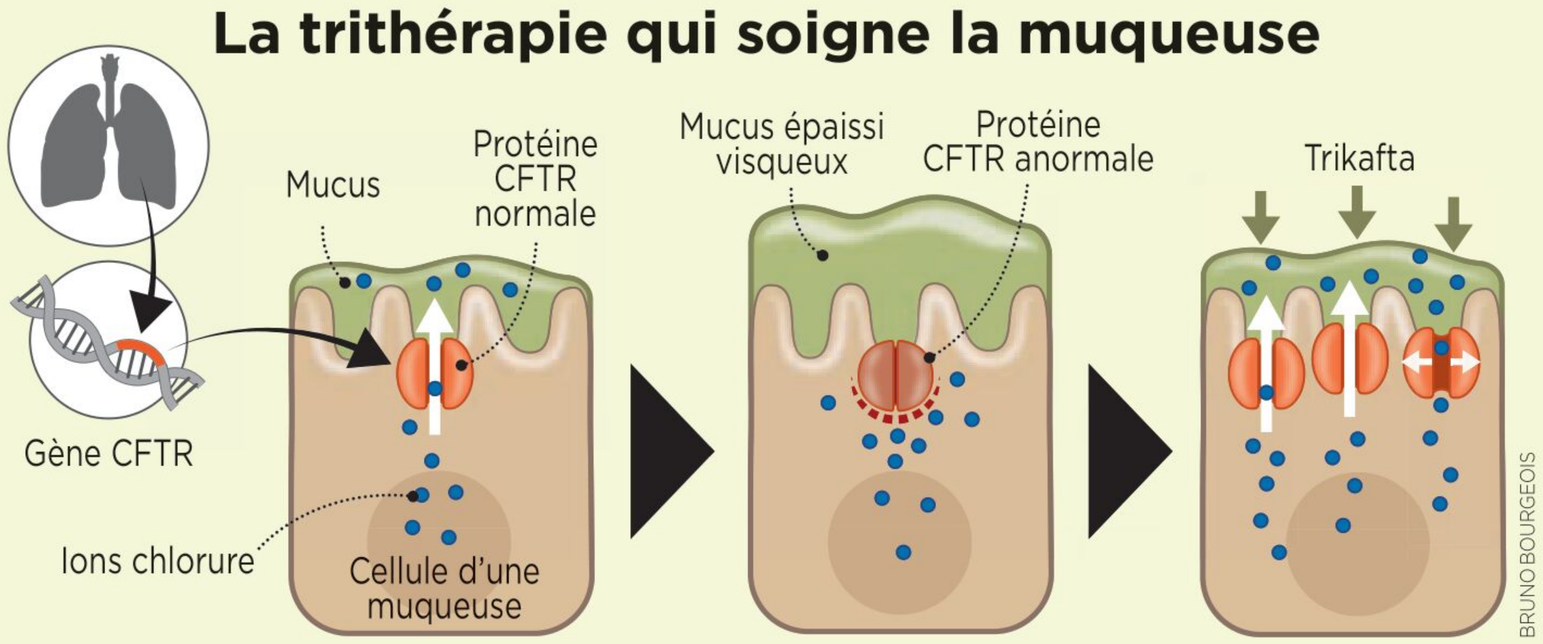
50 ans
l'espérance de vie
à la naissance contre
7 ans
en 1965.

Les patients parlent de « médicament miracle »

L'Agence européenne du médicament, elle, a donné son autorisation au cours de l'été dernier. En France, l'association Vaincre la mucoviscidose s'est attelée à accélérer le processus auprès de la Haute autorité de santé (HAS) afin que cette trithérapie puisse obtenir son autorisation de mise sur le marché (AMM) officielle d'ici au début de l'année prochaine sous le nom de Kaftrio. En attendant, 150 personnes sont déjà traitées dans le cadre d'une Autorisation temporaire d'utilisation (ATU). « *Les patients parlent de "médicament miracle"*, précise la directrice scientifique de Vaincre la mucoviscidose, Paola De Carli. *C'est un traitement révolutionnaire car il fonctionne dans plus de 85 % des cas, mais cela reste un traitement de fond et il faudra être vigilant face à d'éventuels effets indésirables.* » De

THÉRAPEUTIQUE

La trithérapie qui soigne la muqueuse



1 Le gène CFTR code la protéine CFTR qui sert de canal pour les échanges d'ions chlorures entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule.

2 Les mutations du gène CFTR dans la mucoviscidose entraînent une malformation de la protéine qui empêche les échanges, ce qui provoque l'épaississement du mucus et une inflammation des muqueuses.

3 Les trois molécules du Trikafta modifient la protéine pour desserrer le canal et multiplient sa présence pour maximiser les échanges d'ions chlorures et rétablir la bonne épaisseur de mucus.

BURGER / PHANIE

Le Trikafta devrait permettre à terme d'alléger les séances de kinésithérapie pour désencombrer les voies respiratoires.

sorte que la maladie reste lourde de traitements pour désencombrer les poumons ou éviter les infections pulmonaires : kinésithérapie respiratoire, séances d'aérosols, médicaments... Nombre de malades doivent toujours être hospitalisés plusieurs fois par an. Et en 2017, 860 patients vivaient grâce à une greffe de poumon en France.

Mais l'origine du mal est désormais bien identifiée : des mutations d'un gène (CFTR) localisé sur le chromosome 7 modifient la production d'une protéine membranaire, essentielle à la survie de milliards de cellules dans l'organisme (foie, pancréas, système digestif, poumons...). Si une intervention ciblée sur le gène CFTR déficient reste à l'état d'espoir depuis trente ans *(lire l'encadré p. 76)*, les nouveaux modes d'intervention explorés, comme le Trikafta, qui visent directement la protéine, apparaissent donc très prometteurs. Celle-ci sert en effet de canal permettant l'échange d'ions chlorures entre l'intérieur et l'extérieur des cellules des muqueuses. Lorsque la protéine dysfonctionne, ces échanges sont bloqués. Outre une sueur plus salée, l'organisme produit un mucus qui s'épaissit et s'accumule dans les voies respiratoires. Or les poumons sont composés d'environ 600 millions d'alvéoles (0,1 mm de diamètre) tapissées d'un surfactant justement chargé des échanges gazeux avec le sang. Mis bout à bout, ce réseau représente 75 m² de surface produisant un mucus qui ne s'évacue pas, réduisant la capacité pulmonaire. Les trois molécules qui composent le Trikafta agissent alors en multipliant la présence de la protéine et en « rouvrant » le canal pour permettre de nouveau l'échange des ions. Résultat : le patient récupère de 10 à 13,8 % de ses capacités pulmonaires et voit ses épuisantes quintes de toux réduites. Plus encourageant ▸

PAOLA DE CARLI

« C'est un traitement efficace dans 85 % des cas, mais il faudra être vigilants sur d'éventuels effets secondaires »

Paola De Carli, directrice scientifique de l'association Vaincre la mucoviscidose

CHU BREST - GARO/ PHANIE

Les recherches visent à corriger le gène CFTR défectueux (ici, à l'unité Inserm 613 de Brest).

THÉRAPIE GÉNIQUE

L'espoir renaît avec l'outil CRISPR-Cas9

La correction d'un seul gène suffirait à guérir tous les malades souffrant de mucoviscidose. Las ! jusqu'à présent, la thérapie génique espérée depuis trente ans se dérobe. Mais ce déjà vieux rêve médical connaît un regain d'intérêt dans le sillage des nouvelles techniques d'édition du génome qui se développent depuis la découverte de CRISPR-Cas9 en 2012 par Emmanuelle Charpentier et Jennifer Doudna, récompensées en octobre par le prix Nobel de chimie *(lire* S. et A. *n° 885)*. Sur l'année écoulée, trois études ont en effet montré sur des organoïdes l'efficacité potentielle des ciseaux de la génétique. Et des chercheurs de l'université de Stanford (États-Unis) ont mesuré que sur les voies respiratoires supérieures au moins, la moitié des cellules environ pourraient être correctement modifiées d'un coup. C'est en effet sur sa capacité à corriger le gène dans les bonnes cellules et, surtout, en suffisamment grand nombre que le génie génétique a buté jusqu'ici. Un an à peine après la découverte du gène CFTR défectueux en 1989, des chercheurs montraient déjà qu'il était possible d'introduire le gène en bon état dans des cellules en laboratoire grâce à un vecteur viral à adénovirus jouant le rôle de messager. Mais la trentaine d'essais cliniques entrepris depuis avec cette technique n'a pas eu les résultats escomptés : les effets sont trop modestes ou trop éphémères car le nombre de cellules corrigées est trop faible. L'idéal serait d'atteindre les cellules souches, mère de toutes les autres, mais le poumon en contient peu. Et l'insertion uniforme du gène corrigé est rendue délicate par la structure alvéolaire des poumons. Mais les essais sont relancés, le défi relevé.

▸ encore, les résultats d'un essai clinique publié en septembre ont montré que les enfants de 6 à 12 ans toléreraient aussi bien le médicament que leurs aînés, ouvrant la voie à une prescription dans cette tranche d'âge. Or le médicament enrayant le mécanisme pathologique de la maladie, il serait d'autant plus efficace sur le long terme qu'il est donné précocement.

Ces progrès font désormais de la maladie une course de fond contre la dégénérescence, impliquant pour chaque patient d'apprendre à vivre avec au quotidien par l'autosurveillance, la gestion du souffle et la prise de traitements. Lancé en 2019 par Microsoft Research, l'université de Cambridge et le Cystic Fibrosis Trust au Royaume-Uni, le Project Breathe (Projet du souffle) a ainsi mis à profit les mesures de confinement dues à la pandémie de Covid-19 pour développer deux nouvelles études évaluant les bénéfices du monitorage en temps réel. Le kit Project Breathe fourni aux participants comprend une application smartphone, un bracelet connecté Fitbit pour suivre l'activité et le sommeil, un oxymètre pour mesurer le taux d'oxygène dans le sang et un spiromètre mesurant la fonction pulmonaire. Les informations sont automatiquement téléchargées dans l'application, complétées par celles déclarées par le patient lui-même (forme, fréquence et intensité de la toux, etc.). En surveillant ses données, certains patients ont ainsi été à même de détecter rapidement le début d'une infection pulmonaire alors que des consultations virtuelles étaient organisées à l'hôpital Royal Papworth de Cambridge. Une expérience concluante selon Microsoft.

L'intelligence artificielle en renfort

Mais si la télésurveillance a fait ses preuves dans des maladies comme le diabète, une évaluation fine reste nécessaire pour la mucoviscidose. L'objectif est à la fois de réduire le nombre de consultations et d'hospitalisations nécessaires et d'améliorer l'état de forme des patients. Pour cela, les chercheurs comptent déjà sur les données récoltées et exploitées par des algorithmes d'apprentissage automatique. D'ici à quelques années, à côté du test de la sueur salée, l'intelligence artificielle devrait jouer son rôle dans la prise en charge de la mucoviscidose. ■

Hugo Jalinière @HugoJaliniere

quand la
science
rencontre l'
humain

where
science
meets
humanity™

Dégénérescence des fibres nerveuses

Image à focus commun (confocale) par Kien Trinh, Unité de recherche sur la sclérose en plaques et la neuroréparation

Lauren

Patiente vivant avec
la sclérose en plaques

2020/10-Biogen-77945 | Sysmage 3001

Pionniers en neurosciences

Chez Biogen, nous sommes les pionniers d'une nouvelle science qui nous emmène au plus profond du système nerveux et s'étend à travers les réseaux numériques et les communautés de patients, pour mieux comprendre et préserver les qualités fondamentales de la nature humaine.

www.biogen.fr

Biogen France SAS | Tour CBX | 1 passerelle des Reflets | 92913 Paris La Défense Cedex
Société par actions simplifiée au capital de 40 000 € - N° 398 410 126 RCS Nanterre

Biogen

Tout est prêt pour lancer l'essai sur le cannabis médical

Son succès pourrait aboutir à l'entrée de cette plante dans la pharmacopée française. Aujourd'hui, seuls les médicaments à base d'extraits de cannabis sont autorisés.

UNE MULTITUDE DE COMPOSANTS...

Cannabis sativa indica, est une herbacée recherchée pour ses effets psychotropes dus à la présence de THC (tétrahydrocannabinol). Une centaine d'autres molécules composent la plante, dont le CBD (cannabidiol), psychotrope moins puissant, aux vertus antiépileptiques et anxiolytiques.

... ET PLUSIEURS INDICATIONS

L'expérimentation concernera notamment les douleurs neuropathiques, les spasmes douloureux de la sclérose en plaques, ainsi que certaines formes d'épilepsie. S'y ajoutent les traitements de soutien en oncologie et dans certaines situations palliatives.

CHEZ NOS VOISINS AUSSI

Une dizaine de pays européens autorisent la plante pour un usage thérapeutique.
Les pionniers étaient la République tchèque (2013) et l'Italie (2016) pour soulager les douleurs chroniques, stimuler l'appétit chez des patients porteurs du VIH ou encore apaiser des syndromes, comme celui de Gilles de la Tourette.

JUSTIN SULLIVAN/GETTY IMAGES/AFP

Cannabis médical en Californie, où son usage a été autorisé en 1996.

Bonne nouvelle : le calendrier du lancement de l'expérimentation française sur le cannabis médical *(voir* Sciences et Avenir *nº 877, février 2020)* ne devrait pas être affecté par la pandémie de Covid-19. Comme prévu, l'essai consistera à éprouver dès l'année prochaine la viabilité de la mise en place d'une filière de prescription et délivrance de médicaments à base de cannabis pour certains patients *(lire les indications, ci-contre)*. Les preuves d'efficacité du cannabis médical ont été jugées suffisantes pour des patients en échec thérapeutique. C'est-à-dire pour certains malades chez qui les traitements habituellement prescrits en première ou deuxième intention ne suffisent pas (ou plus) à calmer leurs souffrances chroniques.
L'expérimentation a pour objectif principal d'évaluer un circuit d'accès à ces médicaments stupéfiants. Elle pourrait aboutir à l'entrée inédite de cette plante dans la pharmacopée française. Jusqu'à présent, seuls des médicaments à base d'extraits de cannabis ont été acceptés. C'est notamment le cas de l'Epidyolex prescrit contre l'épilepsie. Or, plusieurs travaux ont montré que l'efficacité thérapeutique du *Cannabis sativa* ne reposait pas toujours sur une seule molécule, mais nécessitait parfois l'association de plusieurs autres molécules contenues dans la plante *(lire ci-contre)*. ■

Hervé Ratel

INTERVIEW

NICOLAS AUTHIER

PSYCHIATRE ET PHARMACOLOGUE AU CHU DE CLERMONT-FERRAND*

« LES PREMIÈRES CONCLUSIONS DEVRAIENT ÊTRE DISPONIBLES DÉBUT 2022 »

« Tout se passe comme prévu et les quelques retards sont plus dus à la temporalité administrative dans la publication des décrets qu'au Covid-19. En 2021, nous pourrons inclure les premiers patients après avoir formé les médecins de structures hospitalières qui seront en première ligne dans la délivrance de ces traitements. Très peu de pays peuvent se targuer d'avoir mis en place un tel système de formation préalable aux premières prescriptions, et c'est un point vraiment crucial pour faire accepter ces traitements.

NICOLAS AUTHIER

Les premières conclusions devraient être disponibles début 2022, soit une année avant la fin de l'expérimentation. Cela laissera du temps pour réfléchir aux questions incontournables relatives au futur statut réglementaire de ces médicaments, à leur prise en charge ou non par l'assurance-maladie et enfin à la création d'une filière agro-santé française de production de ces médicaments. »

*Président du comité scientifique « cannabis médical » de l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé.

LEGS • ASSURANCE-VIE • DONATIONS

FRANCE
PARKINSON

Plus de 200 000
malades en France

1 personne sur 4
est liée à la maladie

Reconnue d'utilité publique, l'association France Parkinson se mobilise depuis plus de 30 ans, pour améliorer le quotidien des malades, celui de leurs proches et pour faire avancer la recherche.

En transmettant un legs ou en souscrivant à une assurance-vie en faveur de France Parkinson, **vous apporterez l'espoir d'une vie meilleure aux générations futures.**

DEMANDE DE DOCUMENTATION

France Parkinson - 18 rue des Terres au curé - 75013 Paris

FRANCE
PARKINSON
Reconnue d'utilité publique

☐ **OUI, je souhaite recevoir en toute confidentialité des informations gratuites sur les LEGS, ASSURANCES-VIE ET DONATIONS,** sans engagement de ma part.

☐ Mme ☐ M

Nom Prénom .....

Adresse .....

Code postal |_|_|_|_|_| Ville .....

Téléphone |_|_| |_|_| |_|_| |_|_| |_|_|

Email .....

Les informations vous concernant sont enregistrées dans un fichier informatisé par France Parkinson. Elles sont destinées aux services de l'association à des fins de gestion interne, pour répondre à vos demandes et faire appel à votre générosité. Elles seront conservées pendant la durée strictement nécessaire à la réalisation des finalités précitées.
Conformément à la loi « informatique et libertés », vous pouvez vous opposer à l'utilisation de vos données à caractère personnel ou y accéder pour leur rectification, limitation, effacement ou portabilité en contactant : France Parkinson - Service relation adhérents/donateurs – 18 rue des Terres au Curé – 75013 Paris ou par e-mail : relationdonateur@franceparkinson.fr

Pour plus d'informations, n'hésitez pas à contacter
Damien CONZATTI
au 01 45 20 20 73
ou par e-mail
d.conzatti@franceparkinson.fr

FRANCE PARKINSON
18 rue des Terres au curé
75013 Paris
www.franceparkinson.fr

SA20

Entretien avec...

Accélérer la recherche sur les maladies génétiques

© Julien Lamy

Le Pr Stanislas Lyonnet dirige l'Institut *Imagine*, leader européen des soins et de la recherche sur les maladies génétiques. Une source d'espoir pour les patients atteints de maladies rares.

Quel bilan dressez-vous de l'action d'*Imagine* depuis sa création ?

En 2007, la Fondation *Imagine* a été créée sous l'égide du Pr Claude Griscelli. Elle a porté le projet labellisé institut hospitalo-universitaire (IHU) en 2010 dans le cadre du Programme Investissements d'Avenir (PIA) et concrétisé par un bâtiment inauguré en mars 2014. Aujourd'hui, *Imagine* rassemble en un même site 24 laboratoires de recherche fondamentale, 4 laboratoires associés de recherche clinique, 25 centres de référence maladies rares et 545 chercheurs et médecins. Il s'appuie sur des équipes de recherche renouvelées par appels d'offres internationaux (8 nouveaux laboratoires l'ont récemment rejoint). Il bénéficie de plateformes technologiques du plus haut niveau (séquenceur ADN, outils de bio-informatique, analyse Single-Cell...) et a réussi à générer de la valeur grâce aux partenariats, licences, prestations, contrats de recherche avec les industriels (*via* sa labellisation Institut Carnot), opérations de levées de fonds... Aujourd'hui, un euro investi par la France dans *Imagine* peut en rapporter 3 !

Quels sont vos domaines de recherche prioritaires ?

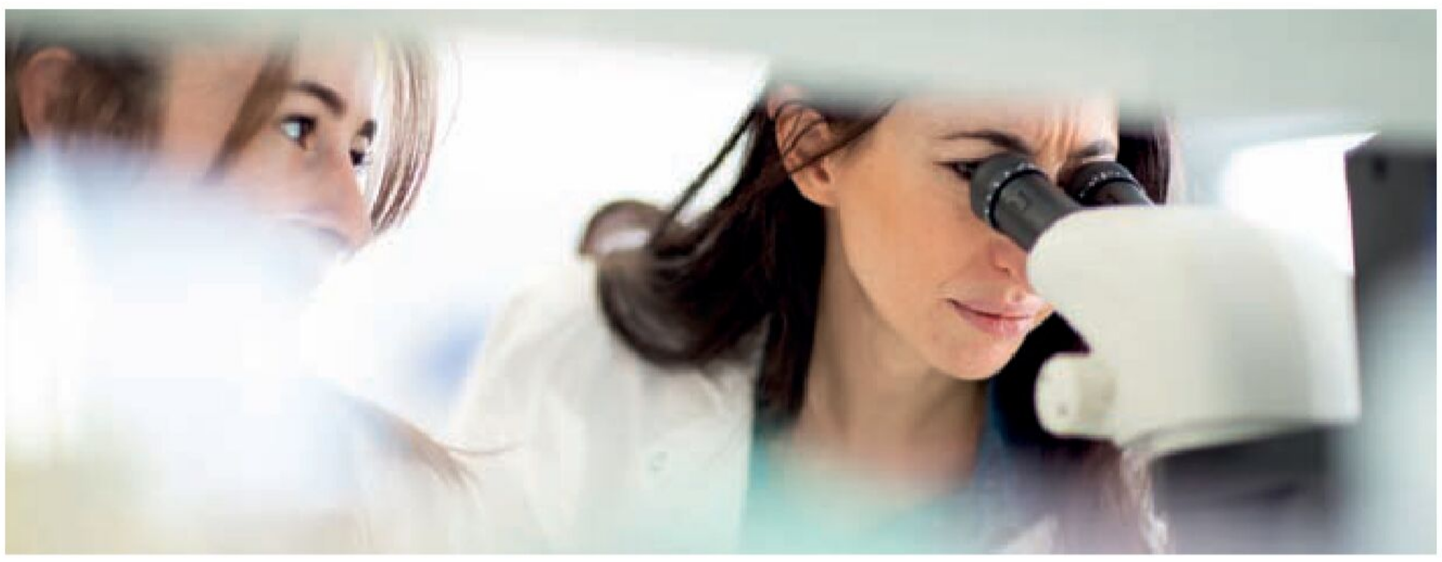
Nous avons labellisé six programmes intégrés de recherche et de soins (ICARP) rassemblant les laboratoires, les plateformes, les centres de référence et les services de l'hôpital Necker-Enfants malades. Ces programmes concernent l'immunologie et les maladies infectieuses, l'hématologie, les neurosciences, les malformations congénitales, les maladies rénales et la science des données. Il s'agit d'outils très souples, stabilisés sous cette forme depuis deux ans mais appelés à évoluer en cas de besoin.

Quid des études cliniques ?

Un ensemble de 544 études cliniques sont en cours aujourd'hui au sein d'*Imagine*. Certaines utilisent la thérapie génique pour remplacer ou modifier un gène, en hématologie ou immunologie. Des cellules souches de la moelle osseuse sont ainsi prélevées et modifiées, afin d'être retransfusées pour compenser un déficit génétique. D'autres études portent sur le développement de nouvelles molécules ou le repositionnement de molécules ayant fait leur preuve dans d'autres pathologies. D'autres encore s'intéressent à la compréhension des mécanismes et des symptômes ou à la corrélation entre anomalies génétiques et signes cliniques.

Vos objectifs pour 2028 ?

Nous voulons avant tout faire passer de 40 à 80 % le taux d'élucidation diagnostique pour mettre un terme à l'errance diagnostique des enfants qui viennent consulter chaque année (ils étaient plus de 30 000 en 2019, dont la moitié de nouveaux patients). Nous souhaitons aussi doubler le nombre d'enfants inclus dans des essais cliniques (ils sont 1 500 à 2 000 actuellement). Nous projetons en outre le doublement de notre entrepôt de données de recherche, fondé aujourd'hui sur les près de 8 millions de données, issues de 720 000 enfants et adultes, de l'hôpital Necker-Enfants malades, mais aussi de France et de l'étranger. Ces données, cliniques mais aussi génétiques, voire d'imagerie, seront à l'origine de nouvelles questions de recherche qu'*Imagine* a pour vocation de traiter. Enfin, et surtout, nous ambitionnons de pérenniser notre modèle grâce aux partenariats industriels et au mécénat pour anticiper l'arrivée à échéance en 2024 des financements du PIA. Une campagne grands donateurs devrait être lancée début 2021. Je suis confiant car de grands ambassadeurs et mécènes, tout comme les grandes entreprises, séduits par notre projet « public-privé » ne manquent pas ! ■


© Huguette&Prosper

Les chiffres des maladies génétiques en France

Trois millions de personnes sont concernées, soit **près d'un Français sur 20**. Ces maladies restent **non diagnostiquées à près de 50 %. Un enfant sur 5 000** souffre d'infections répétées ou sévères, soit quelques centaines de naissances chaque année. **Plus de 150 maladies rénales** sont associées à la présence d'une altération génétique. Enfin, les maladies neurodéveloppementales concernent près de **3 % des enfants** mais comptent pour 10 % des dépenses de santé dans les pays occidentaux.

Source : Institut Imagine.

Dossier réalisé par **DUOMEDIAS.**
Gilles Baron 06 82 84 11 02 gbaron@duomedias.fr – Rédaction : Carine Cheval – Maquette : Sylvie Bisson

ALNYLAM FRANCE

D'un prix Nobel à une nouvelle classe thérapeutique innovante de rupture

© Andreas Feusi

Créée en 2002, la société Alnylam développe actuellement une nouvelle classe de médicaments basés sur l'ARN interférent (ARNi). Cette révolution thérapeutique pourrait changer la vie des personnes atteintes de maladies rares. Les explications d'Antoine Barouky, directeur général d'Alnylam France.

Quel est le potentiel des thérapies à base d'ARNi ?

Découvert en 1992 par Craig Mello et Andrew Fire, deux scientifiques du MIT, l'ARNi thérapeutique est associé à un « vecteur » afin de cibler et détruire les ARN messagers (ARNm) responsables de protéines anormales ou produites en excès dans certaines pathologies. Cette découverte a été récompensée par le prix Nobel 2006 de physiologie ou de médecine alors qu'Alnylam avait vu le jour à Boston en 2002. La société synthétise des petits ARN interférents (pARNi), courts acides ribonucléiques double brin qui ont une séquence nucléotidique complémentaire à celle des ARNm cibles. Cette technologie permet d'atteindre un niveau constant et réglable de protéines à l'origine de certaines pathologies. Mais il a d'abord fallu relever le défi de transporter les pARNi vers l'organe de production de protéines anormales responsables de nombreuses maladies : le foie.
Le premier vecteur a consisté en des nanoparticules lipidiques permettant l'incorporation du pARNi dans le cytoplasme des cellules hépatiques.

Pourriez-vous nous présenter votre premier traitement approuvé aux États-Unis et dans l'Union européenne ?

Ce premier traitement d'ARNi a été approuvé en 2018 pour l'amylose héréditaire à transthyrétine avec polyneuropathie de stade 1 ou 2. Ce traitement a validé cette nouvelle classe thérapeutique. Parallèlement au développement de ce premier traitement, nous avons découvert un deuxième vecteur pour l'ARNi : un oligonucléotide conjugué à un sucre GalNAc en tant que ligand et injectable en sous-cutané. Cela a donné lieu à une deuxième génération de plateformes axées sur le développement de traitements pour les dysfonctionnements se trouvant au niveau des cellules hépatiques.

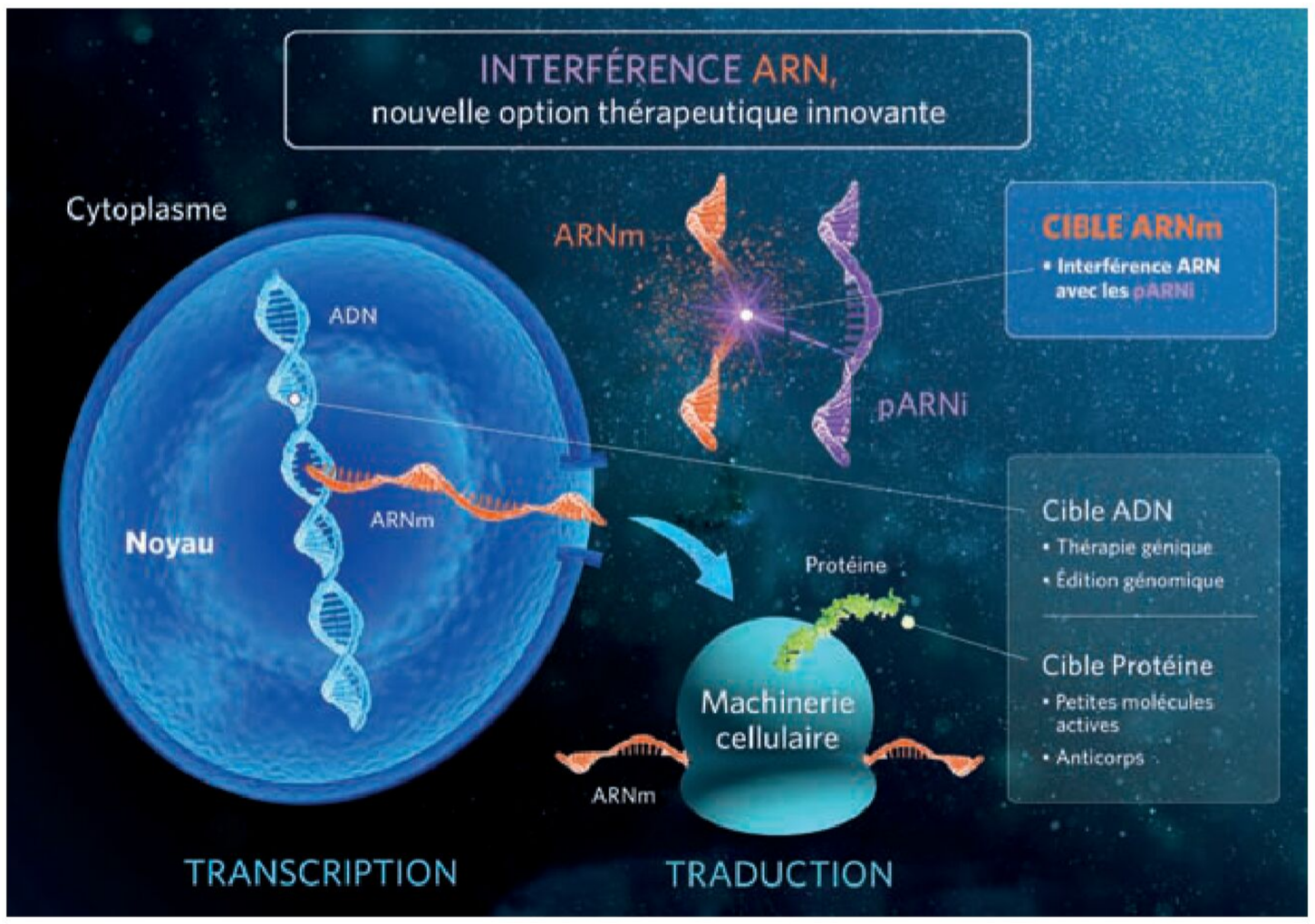
Quels autres médicaments innovants à base d'ARNi développez-vous actuellement ?

Au total, 40 études cliniques sont en cours sur l'ARNi, dont 14 portées par Alnylam qui reste le leader dans ce domaine. Nous avons conçu le premier traitement de fond approuvé pour les patients atteints de porphyrie hépatique aiguë (PHA) – un traitement qui vient cibler l'ARNm de l'ALAS1. Par ailleurs, un traitement qui cible l'inhibition de la PCSK9 dans l'hypercholestérolémie et confié en licence à Novartis, a été testé sur 3 600 patients validant la sécurité et l'efficacité de notre technologie sur des personnes à fort risque cardio-vasculaire et ouvrant ainsi notre R&D sur des pathologies à fort enjeu de santé publique.

Un autre développement se poursuit avec Sanofi : il se présentera sous la forme d'une injection sous-cutanée que les patients atteints d'hémophilie A et B recevront une fois par mois. De plus, nous pilotons un programme en vue de développer des applications pour l'hypertension résistante, l'hépatite B, la Covid-19, les maladies du système nerveux central et les maladies oculaires. Et ce n'est pas tout : nous prévoyons le développement de molécules pour traiter la maladie d'Alzheimer ayant une confirmation génétique. Enfin, nous avons conclu un accord avec Regeneron en vue d'attaquer la stéatose hépatique non alcoolique par le biais d'une combinaison de traitement ARNi et anticorps monoclonal qui va rentrer en phase I/II.

Vos prochains défis ?

L'ARNi est une rupture technologique équivalente aux anticorps monoclonaux dans les années 90. Durant le XXIe siècle, beaucoup de pathologies sans traitement efficace trouveront dans l'ARNi une solution thérapeutique.
Un bon exemple serait l'oncologie. Notre devoir est d'accélérer la recherche pour essayer de trouver des solutions pour les patients. La France a largement contribué à la validation de l'ARNi. Le savoir-faire français dans les maladies rares, en vectorisation et en recherche doit en effet accompagner cette révolution.
Nous avons quinze études cliniques en cours et beaucoup de partenariats de recherche en France. Les challenges ne manquent pas ! ■



Le vinaigre a du piquant

Outre son intérêt pour agrémenter les plats, ce condiment riche en acide acétique pourrait abaisser le taux de glycémie chez les diabétiques et favoriserait la destruction des graisses chez les obèses.

IL SUFFIT D'UNE PETITE GOUTTE de vinaigres de cidre, de framboise, de xérès… ou de bien d'autres variétés pour exalter les saveurs et réveiller l'appétit. Le vinaigre dont le nom vient de « vin aigre » est ainsi apprécié depuis des millénaires. On retrouve des traces de sa fabrication en Égypte et en Mésopotamie, il y a plus de 5000 ans. Mélangé à de l'eau, les Grecs en ont fait une boisson désaltérante, l'oxycrat, et Hippocrate en prescrivait à ses patients comme remède contre la fièvre et certaines infections. Aujourd'hui encore, il est utilisé pour soulager divers maux du quotidien. Mais côté cuisine, vinaigres de vin et de cidre sont longtemps restés réservés aux vinaigrettes, les consommateurs préférant se tourner vers les suaves balsamiques italiens, les aromatiques xérès andalous (*sherry* en anglais) et les vinaigres de riz asiatiques, moins acides pour agrémenter leurs plats. Toutefois, ces dernières années, cet indispensable de nos placards s'est réinventé. En témoigne la pléthore de références de vinaigres aromatisés. À la tomate séchée, au miel ou aux fruits de la passion, en flacon ou en spray, tous apportent une pointe d'exotisme aux mets. Dernier arrivé, le vinaigre à la noix de coco, tout droit venu d'Asie du Sud-Est qui joue même la carte santé avec ses arguments minceur.

13 kcal

sont apportées par deux cuillères à café (10 g) de vinaigre balsamique, 2 kcal pour le vinaigre de cidre ou de vin et 3 kcal pour le vinaigre de riz.
(SOURCE : TABLE CIQUAL ANSES.)

Le fruit d'une double fermentation

Le vinaigre est issu d'une fermentation alcoolique suivie d'une fermentation acétique. Christiaan Hendrik Persoon, un mycologue sud-africain, perce le mystère de sa fabrication au XIX[e] siècle, en attribuant son acescence à un biofilm cellulosique qu'il dénomme *Mycoderma aceti* ou mère de vinaigre. En 1865, Louis Pasteur identifie l'*Acetobacter aceti* comme l'une des espèces de bactéries acétiques à l'origine de cette fermentation. Outre de l'eau (70 à 90 %) et de

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

ACESCENCE Altération du vin due à la présence d'acide acétique et d'acétate d'éthyle, caractérisée par une odeur de vinaigre.

MÈRE DE VINAIGRE Biofilm produit par des bactéries à la surface du vinaigre lors de la fermentation acétique.

INDICE GLYCÉMIQUE (IG) Critère de classement des aliments contenant des glucides, fondé sur leurs effets sur la glycémie. Un aliment à IG élevé provoque un pic du taux de sucre suivi d'une baisse rapide, et donc d'une sensation de faim.

l'acide acétique (5 à 8 %) qui lui procure son goût amer et son odeur piquante, le vinaigre renferme quelques minéraux, notamment du calcium (18 mg/100 ml de vinaigre balsamique), du potassium (74 mg/100 ml de vinaigre de vin rouge) et du magnésium (5 mg/100 ml de vinaigre de cidre). Le vinaigre de vin serait également considéré comme une source d'antioxydants, en raison de sa teneur en composés phénoliques (près de 600 mg/l) (1).

Il réduirait la glycémie

Selon une étude réalisée à l'université de l'Arizona (États-Unis), l'acide acétique du vinaigre pourrait diminuer la réponse du glucose et de l'insuline dans le sang après un repas. Il aurait de cette façon des effets physiologiques similaires à l'acarbose et à la metformine, deux médicaments utilisés contre le diabète de type 2. Les personnes diabétiques ayant consommé 20 g de vinaigre de cidre accompagné d'un repas test (*bagel* blanc, beurre et jus d'orange soit 87 g de glucides au total) ont ainsi amélioré de 19 % leur sensibilité à l'insuline par rapport au groupe témoin (2). En outre, selon des travaux suédois, ingérer 28 g de vinaigre pendant un petit déjeuner composé de 50 g de pain de blé blanc réduirait de 20 à 30 % l'indice glycémique du repas (3).

Ceux de cidre et coco auraient un effet minceur

Un essai clinique randomisé a montré que des individus obèses ou en surpoids ayant bu 30 ml de vinaigre de cidre par jour, ajoutés à une restriction calorique de 250 kcal par rapport à leurs besoins quotidiens estimés, ont en moyenne perdu 4 kg en 12 semaines, contre 2,3 kg pour les participants n'ayant pas consommé de vinaigre. En outre, des réductions de l'indice d'adiposité viscérale et de l'appétit ont également été observées dans le groupe « vinaigre » à la fin de l'étude (4). Une des hypothèses évoquées pour expliquer la perte de poids est une augmentation de la lipolyse, la fonte des graisses. L'acétate du vinaigre augmenterait l'expression des gènes codant pour les enzymes d'oxydation des lipides, telles l'acyl-coenzyme A oxydase (5). Des effets revendiqués aussi par le vinaigre de coco.

Celui de riz et le balsamique sont les plus sucrés

Avec 19,1 g de sucres, le vinaigre balsamique justifie sa saveur aigre-douce. Prudence avec les crèmes (28 g/100 g de sucre pour le Velours de vinaigre balsamique de Maille) et les vinaigres de fruits (45 g/100 ml de sucre pour le vinaigre à la framboise de Lidl). Ceux de riz, utilisés notamment pour la préparation des sushis, sont également additionnés de sucre et de sel. Exemple : celui de la marque Oishiya affiche l'équivalent de 5 morceaux de sucre et 4 g de sel.

Bien choisir son vinaigre balsamique

Le vinaigre balsamique est fabriqué à partir de moût de raisins, cuits puis vieillis en fûts de bois durant douze à vingt-quatre ans. Préférez le vinaigre balsamique traditionnel de Modène, qui bénéficie d'une DOP (*Denominazione di origine protetta*, appellation d'origine protégée). Cette appellation est plus sûre que l'indication géographique protégée (IGP) qui autorise notamment la coloration au caramel de sulfite d'ammonium, un additif caché sous la mention E150d et classé comme possiblement cancérogène chez l'homme par le Centre international de recherche contre le cancer (Circ). En outre, l'IGP ne requiert qu'un minimum de 20 % de moût de raisin, le reste étant du vinaigre de vin. Pour les vinaigres aromatisés (échalote, estragon, framboise), il faut également préférer les arômes naturels aux artificiels. ■ **Sylvie Boistard**

(1) Antioxidant properties of commercial grape juices and vinegars, Davalos A. et al, *Food Chemistry,* 2005.

(2) Vinegar improves insulin sensitivity to a high-carbohydrate meal in subjects with Insulin Resistance or type 2 diabetes, Carol S. et al, *Diabetes Care,* 2004.

(3) Vinegar supplementation lowers glucose and insulin responses and increases satiety after a bread meal in healthy subjects, Ostman E. et al, *European journal of clinical nutrition*, 2005.

(4) Beneficial effects of apple cider vinegar on weight management, visceral adiposity index and lipid profile in overweight or obese subjects receiving restricted calorie diet: a randomized clinical trial, Solaleh S. et al,. *Journal of Functional Foods*, 2018.

(5) Effect and mechanisms of action of vinegar on glucose metabolism, lipid profile, and body weight, Petsiou E. et al, *Nutrition Reviews*, 2014.

YSABELLE LEVASSEUR Diététicienne-nutritionniste (Paris)

Gare à leurs sulfites

« Avec un pH de 2,4, le vinaigre est un acide qui peut entraîner des brûlures et des problèmes de digestion chez les personnes souffrant d'un ulcère d'estomac ou de reflux gastro-œsophagien. Les vinaigres de vin contiennent également des sulfites, issus des procédés de fermentation. On en trouve aussi dans les vinaigres de fruits et certains balsamiques industriels dans lesquels du vinaigre de vin a été ajouté. Les sulfites peuvent être à l'origine d'éternuements, de congestion nasale, d'urticaire ou de maux de tête, chez certaines personnes hypersensibles qui consomment par ailleurs d'autres produits alimentaires en contenant en quantité, tels les abricots secs et les crustacés en barquette. Mieux vaut se tourner vers des vinaigres bio ou de labels Nature et progrès ou encore Demeter. »

Retour à Hatra, la cité du dieu-Soleil

Après l'occupation et les ravages causés par Daech, une équipe italienne a entrepris en Irak l'inventaire de cette cité antique à la croisée des empires romain et parthe. Un joyau archéologique qu'il faudra entièrement restaurer.

Par Bernadette Arnaud @NarudaaArnaud

ALIPH-ISMEO HATRA PROJECT

Le temple de Shamash Maran, à Hatra (ici photographié en mars 2020). Faisant voisiner des édifices d'architecture orientale et occidentale, Hatra est l'un des quatre sites irakiens classés au patrimoine mondial de l'Unesco.

BRUNO BOURGEOIS

Pendant des siècles, ses ruines étaient restées à l'écart, balayées par les tempêtes de sable, dans le silence du désert d'Irak… Seuls de rares archéologues s'y étaient aventurés au début du XXe siècle, intrigués par les sanctuaires gréco-romains et les *iwans*, d'imposantes voûtes caractéristiques de l'architecture parthe, que l'on pouvait y admirer. Puis vinrent soudain les images dramatiques des destructions orchestrées par le groupe terroriste islamiste Daech qui en fit l'un de ses QG de 2014 à 2017, année de son éviction par des milices irakiennes. Depuis, nul n'était venu faire l'inventaire de cette ancienne ville caravanière des IIe-IIIe siècles, classée au patrimoine mondial de l'Unesco.

« *Hatra est symbolique du "nettoyage culturel" qui sévit au Moyen-Orient ces dernières années. La libération de la capitale de ce qui fut le premier royaume arabe marque un tournant majeur en ouvrant la voie à sa protection et à sa conservation* », avait déclaré Irina Bokova, alors directrice générale de l'Unesco. « *Notre équipe a été la première à pouvoir y pénétrer, dès 2019, pour en faire l'expertise* », explique Massimo Vidale, responsable de la mission italo-irakienne de Hatra, rencontré de retour d'Irak, voilà quelques semaines, à l'université de Padoue (Italie) où ce spécialiste de l'âge du bronze enseigne l'archéologie du Moyen-Orient. Une opération exceptionnelle financée par l'Alliance internationale pour la protection du patrimoine dans les zones de conflit (ALIPH) qui permettra de programmer les futures opérations de restauration. Une vaste campagne de sauvetage est en effet nécessaire pour remettre en état la ville antique aux temples de pierre blonde renommée pour ses décors délicats et ses vestiges uniques de l'art hatrèen.

Sur place, au cœur de la Jazira occidentale, à 290 kilomètres de Bagdad, le premier objectif des archéologues a été d'établir un état des lieux de la cité qui s'étend sur 310 hectares. « *Daech avait transformé le site en camp d'entraînement et nous avons pu constater que les sculptures servaient de cibles d'exercice* », poursuit le chercheur italien à la tête d'une équipe réunissant des spécialistes de l'As-

CONTEXTE

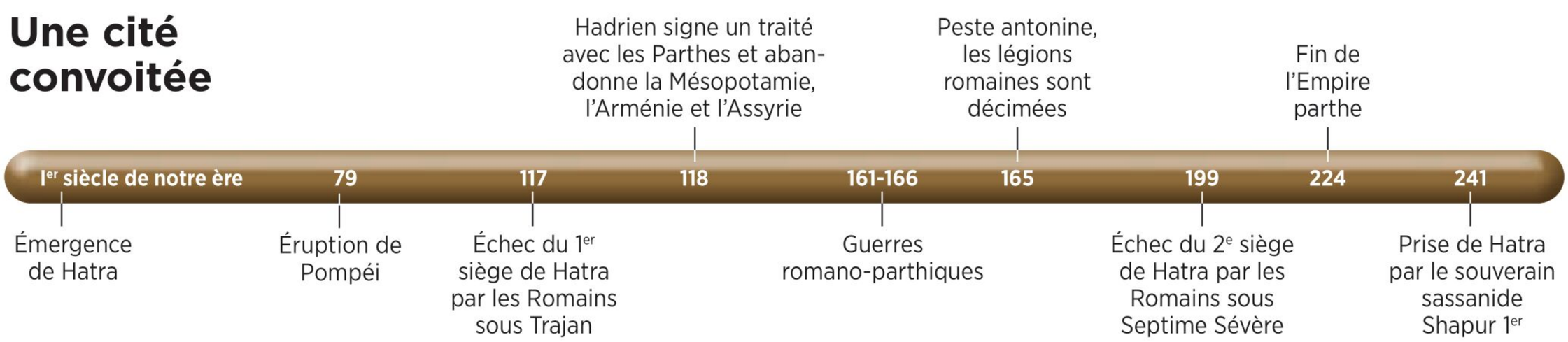
Créée en 2017 à l'initiative de la France et des Émirats arabes unis, l'Alliance internationale pour la protection du patrimoine dans les zones en conflit (ALIPH) soutient actuellement une centaine de projets de réhabilitation dans 22 pays, en particulier dans les régions du Moyen-Orient et du Sahel. ALIPH dispose d'un capital avoisinant les 80 millions de dollars. Une enveloppe exceptionnelle de 5 millions de dollars vient ainsi d'être consacrée aux mesures d'urgence pour la protection du patrimoine de Beyrouth (Liban).

sociation internationale d'étude sur la Méditerranée et l'Orient (Ismeo), des universités de Padoue et de Sienne (Italie) et du Conseil national irakien des antiquités et du patrimoine (SBAH). D'innombrables impacts de balles et d'obus de mortiers ont ainsi été comptabilisés et reportés sur les cartes détaillées de chaque bâtiment et temple. De nombreuses statues et décors architecturaux ont également été retrouvés mutilés, considérés comme les symboles des périodes préislamiques honnies par les terroristes sunnites de Daec. À l'instar d'une élégante statue féminine située à l'ouest du temple de Shahiru, sans doute la reine Ebu, épouse de Sanatrûq II (IIe siècle), aujourd'hui réduite en miettes. « *Par chance, nous avons constaté que les terroristes avaient abandonné des fragments sur place, et certaines de ces œuvres pourront être en partie restaurées* », se réjouit Massimo Vidale. Ainsi, c'est parmi les carcasses de voitures calcinées, de pièces d'artillerie et de déchets de tous ordres abandonnés par les islamistes que les morceaux d'un personnage brisé à coups de masse ont été collectés dans un des grands iwans. L'équipe italo-irakienne a pu également utiliser des drones pour survoler l'ensemble du site et procéder à des relevés photogrammétriques 3D en haute résolution de chaque monument. Les experts ont aussi pris la mesure d'un autre problème, aussi inattendu qu'in-

ALIPH-ISMEO HATRA PROJECT

Sur ce plan détaillé du temple de Shahiru, les chercheurs ont reporté les nombreuses dégradations subies par le bâtiment : celles provoquées par Daech (impacts de balles, déchets abandonnés, statues brisées…) et celles dues aux travaux de restauration antérieurs (remontées d'humidité, érosion des pierres…).

Une cité convoitée



DIVINITÉS

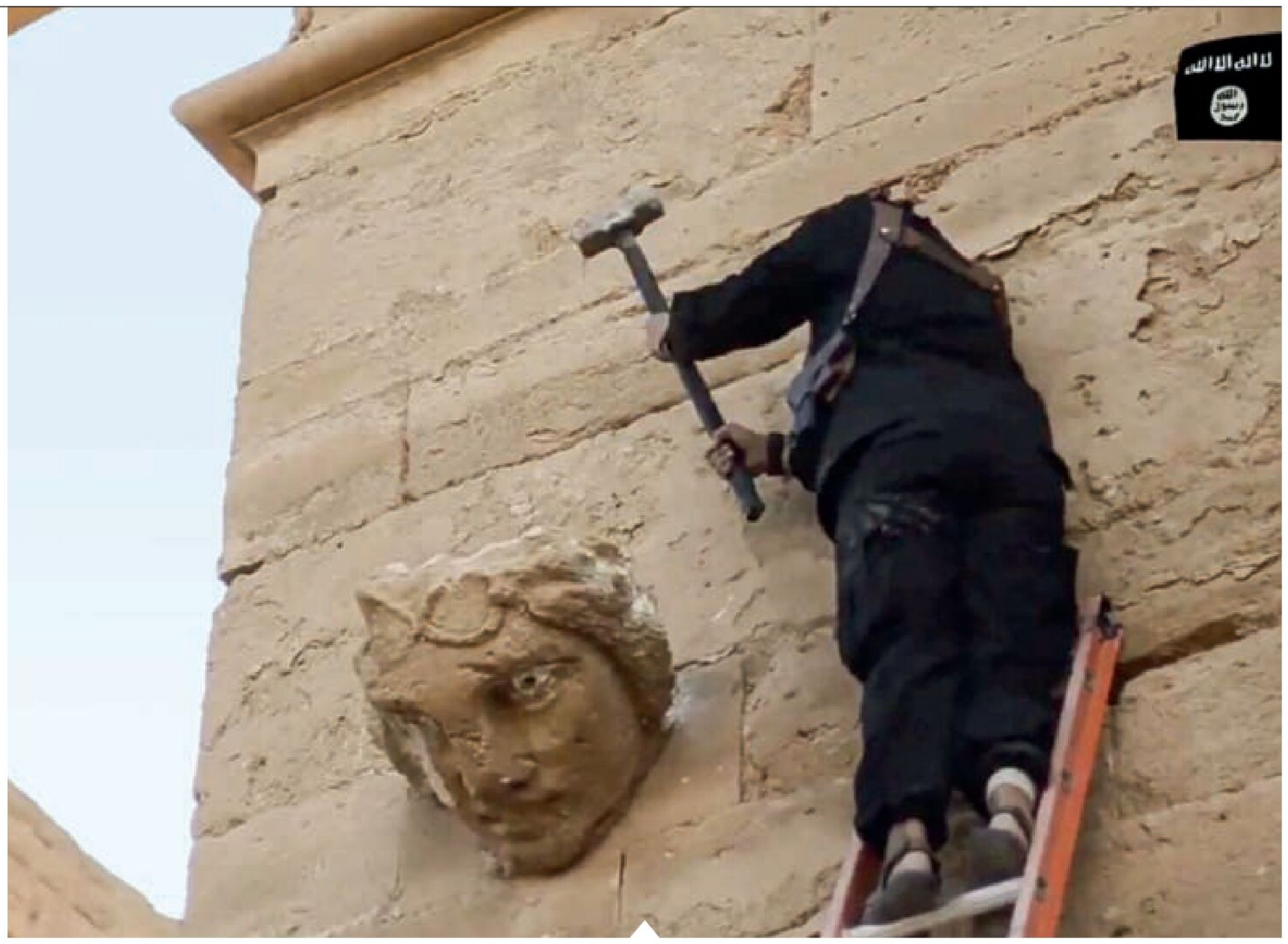
Une religion syncrétique

La religion hatréenne, aux origines multiples provenant de la Mésopotamie comme des mondes arabe, gréco-romain, iranien ou syrien, est connue pour son syncrétisme. Les pèlerins venaient de loin pour vénérer ses dieux à Hatra. La divinité principale est Shamash, le dieu-Soleil, représenté avec une tête « radiée » (entourée de rayons) comme Malakbêl, son équivalent à Palmyre (Syrie). Des inscriptions et des statues font également référence à une certaine Allat, divinité d'origine araméenne vénérée de Palmyre à Ta'if, en Arabie, interprétée comme une forme arabe d'Aphrodite ou d'Athéna. Elle est aussi représentée en compagnie de deux déesses, Manat et Al-Uzza, qu'accompagnent parfois un chameau ou un lion. Il est aussi question d'un dieu de l'Aurore, Shahiru, et de Nergal, dieu des Enfers, figuré avec les traits syncrétiques d'Héraklès classique, portant peau de lion et massue, ou encore de Nabu, ancien dieu de la Sagesse, représenté avec un stylet symbole de l'écriture. Nombreuses sont aussi les divinités à arborer des éléments iconographiques des traditions gréco-romaines et mésopotamiennes, à l'instar de cornes, attributs attestant une origine divine. Quant aux cultes rendus à ces divinités, ils demeurent à ce jour fort mal connus.

AKG IMAGES

Shamash, le dieu-Soleil, était la divinité tutélaire de Hatra. De nombreux pèlerins se rendaient dans la cité pour le vénérer.

quiétant : des remontées de sel corrosives qui attaquent les pierres des bâtiments. « *Ces infiltrations sont bien antérieures à l'arrivée de Daech*, poursuit Massimo Vidale. *Elles ont été provoquées par les travaux de restauration entrepris par Saddam Hussein, alors à la tête de l'Irak, à la fin des années 1980. Il souhaitait faire de Hatra un site d'attraction touristique aussi fréquenté que celui de Palmyre en Syrie.* »
Des travaux interrompus en 1990 après l'invasion du Koweït par l'Irak, tout comme l'entretien des lieux, le pays subissant alors de lourdes sanctions économiques internationales. Résultat : les imposantes reconstructions ont pesé au fil des années sur les structures antiques, les rendant encore plus vulnérables. Il en a résulté une érosion intensive, une décomposition impressionnante des surfaces avec l'exfoliation des pierres, abrasées par les tempêtes de sable et les remontées ininterrompues de l'humidité du sol. Sur les murs en grès poreux rongés par des infiltrations d'eau, des inscriptions millénaires en araméen, langue alors dominante dans le nord de la Mésopotamie, ont commencé à s'effacer irrémédiablement des parois des temples. « *Il nous faut désormais trouver un moyen d'enrayer ce processus pour sauver ce site d'une richesse inestimable* », soupire Massimo Vidale.
Hatra recèle en effet des trésors uniques. Ce joyau archéologique doit sa notoriété au rôle qui fut le sien pendant les trois premiers



AP/SIPA

Un milicien de Daech détruit à coups de masse un bas-relief à Hatra, en avril 2015.

siècles de l'ère chrétienne. Au IIe siècle, à son apogée, la ville est en effet la capitale d'un royaume puissant dirigé par une dynastie perse, gravitant dans l'orbite de l'Empire parthe fondé par les Parni, tribu nomade scythe parlant une langue iranienne. Preuve de cette renommée, la cité est mentionnée sur la table de Peutinger (*Tabula Peutingeriana)* une carte réalisée vers 325, et connue par une copie du XIIe siècle, où figurent les principales villes et artères de l'Empire romain. Cité caravanière, Hatra (*el-Hadr*) avait été fondée par des populations arabes au mode de vie nomade, *« souvent appelées "scénites" — du grec skênê ("tente") — et dont le domaine s'étendait de la Mésopotamie à la péninsule Arabique »*, relève ainsi Catherine Saliou, professeure d'histoire romaine à l'université Paris-VIII Vincennes-Saint-Denis. La culture qui se développe à Hatra est ainsi considérée comme un métissage de traditions diverses, syriennes et mésopotamiennes autant que gréco-romaines ou iraniennes, le site étant en même temps l'un des plus riches en art parthe.

Les plus imposants édifices concentrés sur 14 hectares

Différents temples à colonnades s'y trouvent protégés depuis près de deux mille ans par un double système de défense. Un premier rempart circulaire de 6 km de circonférence est hérissé de 163 tours de guet, percé par quatre « portes » érigées en briques crues et en pierre calcaire. À l'intérieur, une seconde fortification, enserrant le sanctuaire central (*Temenos*), concentre sur une superficie de 14 hectares l'ensemble des plus importants édifices. Pendant des siècles, la cité a été au centre de conflits entre Rome, l'empire parthe — son rival — et l'empire sassanide naissant, dans un Moyen-Orient dominé par le monde romain jusqu'aux rives de l'Euphrate et une partie de la péninsule Arabique. Pomme de discorde, Hatra sera d'ailleurs assiégée sans succès par les légions de Trajan, en 117, puis par celles de Septime Sévère, en 199. Avant d'être vaincue, après quatre années d'affrontements, par le souverain sassanide Shapur 1er, en 241. Et finira par être abandonnée.

De ce monde perdu, les chercheurs savent peu de choses. *« Hatra est en effet longtemps restée dans l'oubli, du fait de son isolement »*, déclare Massimo Vidale. L'art que l'on y rencontrait était essentiellement constitué de statues, de stèles et de bas-reliefs. Et pour admirer aujourd'hui ses plus belles et nombreuses statues de ses anciens rois, prêtres, ou divinités témoignant des influences gréco-romaines, autant que mésopotamiennes, il faut se rendre au musée de Mossoul ou à celui de Bagdad où ces trésors ont été mis à l'abri lors de la seconde guerre du Golfe, en 2003. Ils sont désormais étudiés par une seconde mission de recherche.

Actuellement protégée par les milices chiites des al-Hachd al-Chaa'bi (Unités de mobilisation populaire) qui ont libéré le site et vivent désormais sur place, Hatra est survolée en permanence par des drones de surveillance américains. Dans la région, personne ne souhaite voir revenir les groupes djihadistes, toujours en embuscade à quelques kilomètres à peine. En attendant, forts de leurs relevés de terrain et des données recueillies, les archéologues espèrent convaincre les autorités de lancer d'urgentes opérations de restauration, lesquelles, dans le contexte économique actuel de l'Irak, ne pourront être menées à bien qu'avec la collaboration d'agences internationales influentes. ■

MASSIMO VIDALE

« Hatra est demeurée longtemps dans l'oubli en raison de son isolement »

Massimo Vidale, archéologue, responsable de la mission italo-irakienne de Hatra

AHMED GOMAA / XINHUA / SIPA

Découvert en septembre dans la nécropole de Saqqarah, au sud du Caire (Égypte), avec quelque 60 autres, le sarcophage porte inscrit sur sa paroi intérieure la formule funéraire.

Un sarcophage révèle le plus vieux texte du Livre des morts

Cette formule funéraire égyptienne, datée de -4000 ans, devait permettre au mort de mieux jouir de sa seconde vie dans l'au-delà.

Parfaitement préservés, arborant des couleurs éclatantes, une soixantaine de sarcophages ont été récemment exhumés des galeries souterraines du complexe funéraire de Saqqarah, au sud du Caire (Égypte). Et leurs analyses préliminaires ont conduit à une étonnante découverte. Les textes apposés sur les parois de l'un d'eux, datés de -4000 ans, pourraient constituer la plus ancienne variante du Livre des morts — les textes funéraires les plus connus de l'Égypte antique — parvenue jusqu'à nous. Elle aurait 500 ans de plus que les plus vieilles déchiffrées jusqu'à présent.

De quoi s'agit-il ? Les anciens Égyptiens croyaient en la résurrection et, traditionnellement, des textes religieux accompagnaient les défunts dans la tombe. Depuis le début du Nouvel Empire (1539-1080 avant J.-C.), le Livre des morts faisait ainsi office de référence, son usage perdurant pendant près de 1500 ans. « *Il s'agit d'une compilation de formules hétéroclites de diverses origines et teneurs, qui avaient en commun d'être mobilisées pour faciliter au mort la jouissance d'une seconde vie dans l'au-delà* », explique Pascal Vernus, égyptologue, directeur d'études à l'École pratique des hautes études (EPHE). La fonction de ces formules était d'assister le défunt dans le dangereux périple qu'il devait accomplir dans le royaume des morts. En prononçant ces sentences magiques, on pouvait ainsi l'aider à s'affranchir des plus périlleux obstacles.

Une carte topographique de l'au-delà avec ses dangers

C'est le savant allemand Karl Richard Lepsius (1810-1884) qui a renommé « Livre des morts » ce recueil appelé « Livre pour sortir au jour » dans l'Antiquité. Toutefois, jusqu'au Moyen Empire (vers 2022-1650 avant J.-C.), il était le plus souvent directement inscrit sur les parois des sarcophages, d'où son autre nom de Textes des sarcophages. Il n'en existait aucune version canonique, chacun étant libre d'y mêler des passages issus d'autres livres funéraires, tels que le Livre des deux chemins — sorte de carte topographique de l'au-delà, avec l'emplacement des dangers —, le Livre de Shou ou encore le Livre des quatre vents.

La découverte réalisée à Saqqarah courant octobre est importante dans la mesure où l'une des formules retrouvées sur un sarcophage du Moyen Empire (règne du pharaon Montouhotep II) n'était connue jusque-là que dans le Livre des morts du Nouvel Empire. De quoi accroître les connaissances des chercheurs sur les liens qu'ont pu entretenir entre eux ces précieux textes et leur chronologie. ■

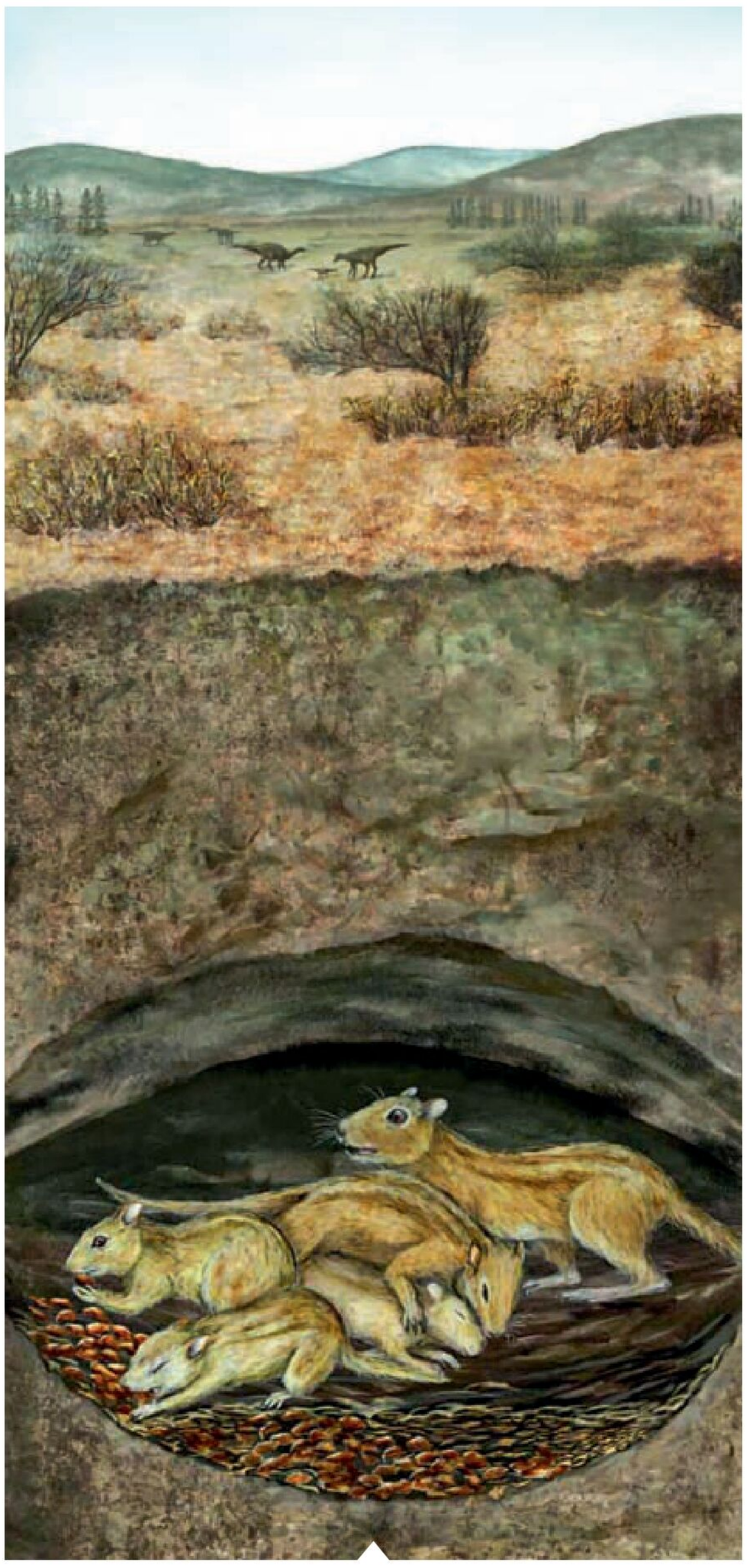
Bernadette Arnaud @NarudaaArnaud

Il y a 75 millions d'années, l'émergence de la famille

La découverte de fossiles de petits mammifères exhumés ensemble sur le site d'Egg Mountain (États-Unis) montre que la vie sociale existait déjà à l'époque des dinosaures.

ILS SE PELOTONNAIENT dans leurs terriers, il y a 75,5 millions d'années, au temps où les dinosaures régnaient encore sur la Terre. Une vingtaine de fossiles de petits mammifères primitifs exhumés sur le site d'Egg Mountain, dans le nord-ouest du Montana (États-Unis), montre que la vie sociale existait déjà à cette époque. C'est la conclusion de paléontologues américains et chinois dans la revue *Nature Ecology and Evolution*. « *Nous avons mis au jour des dépôts d'os de petits mammifères provenant de plusieurs individus de différentes générations enterrés ensemble*, explique Lucas Weaver, de l'université de Washington, à Seattle. *Les squelettes représentent une espèce d'un nouveau genre de mammifère archaïque de la taille d'un rongeur, que nous avons nommée* Filikomys primaevus *du grec* filikós, *signifiant "amical", en raison de son comportement.* » Ces animaux, dotés de pattes puissantes pour creuser, s'enfouissaient apparemment ensemble, en groupes multigénérationnels de cinq individus maximum. En se fondant sur le comportement des mammifères sociaux vivants fouisseurs comme les lapins, le paléontologue et ses collègues suggèrent que les individus fossiles étaient apparentés.

Une surprise, car la vie solitaire est considérée comme un trait ancestral des mammifères. En effet, les individus de 70 % des espèces de mammifères actuels n'interagissent pas les uns avec les autres en dehors des comportements reproductifs. Et, bien qu'un grand nombre de mammifères placentaires soient sociaux aujourd'hui, l'absence relative de socialité chez les pondeurs ou les marsupiaux avait conduit les scientifiques à émettre une hypothèse, aujourd'hui démentie : les ancêtres des mammifères, les thériens, n'avaient pas goûté aux joies de la vie de famille avant l'extinction des dinosaures il y a environ 66 millions d'années.



MISAKI OUCHIDA

Les mammifères *Filikomys primaevus* s'enfouissaient en petits groupes d'individus d'âges divers, probablement apparentés.

Ils n'avaient pas encore développé de mamelles

La socialité, définie au sens large comme « la vie en groupe parmi les conspécifiques », confère des avantages en matière d'évitement des prédateurs, d'acquisition de ressources et de thermorégulation. Cerveau encore reptilien, denture de rongeur et mandibule de mammifère, ces animaux n'avaient peut-être pas encore développé de mamelles. « *Les petits devaient lécher un liquide riche en caséine sur les poils maternels* », suggère Lucas Weaver. Fait touchant, Egg Mountain est déjà célèbre dans le monde entier pour avoir livré plus d'une dizaine de nids de dinosaures du genre *Maiasaura*, « lézard petite-mère », et fourni, à la fin des années 1970, la première preuve solide que les dinosaures nourrissaient et prenaient soin de leurs petits. On pourrait la rebaptiser aujourd'hui « la colline aux familles ». ■

Rachel Mulot @RachelFleaux

CADEAUX HIGH TECH SPÉCIAL NOËL

DOSSIER COORDONNÉ PAR Caroline Brun, Agence Forum News
RÉDACTION : William Coop-Phane

Tech care

Jamais la technologie n'a autant pris soin de nous. De la lampe intelligente qui adapte l'intensité de la lumière selon notre âge, à la brosse à dents connectée qui livre un compte rendu complet sur notre hygiène bucco-dentaire, en passant par le purificateur qui filtre l'air que l'on respire, la dernière génération d'objets high-tech veille sur notre confort et notre bien-être. Alors que les fêtes de Noël se profilent, voici une sélection de cadeaux pratiques à utiliser au quotidien.

Écran papillon

▶ Le confort visuel d'une tablette, la puissance et la finesse d'un smartphone. Le dernier-né de la génération Samsung s'ouvre comme un livre pour afficher des images grand format et se referme comme un portefeuille pour se glisser dans la poche. Au final, un écran pliable de 7,6 pouces, deux batteries, trois capteurs photos et prêt pour la 5G.

Samsung Galaxy Z Fold2. Prix indicatif : **2020 €**

Brossage intelligent

▶ Dopée à l'intelligence artificielle, cette brosse à dents connectée ajoute de légères microvibrations aux mouvements oscillorotatifs habituels (17 400 par minute). Son application traque sans relâche les points à améliorer chez son utilisateur afin de cultiver des gencives saines et une bonne hygiène bucco-dentaire.

Oral-B Série iO. Prix indicatif : **à partir de 279 €**

Immersion totale

▶ Fruit de la collaboration entre Philips, pour l'image, et Bowers & Wilkins pour le son, ce nouveau téléviseur, au châssis ultraplat et cadre sans bordures, propose la technologie Ambilight des quatre côtés qui donne cette sensation unique que le visionnage dépasse les limites de l'écran. Équipé d'un processeur de traitement d'images embarquant de l'intelligence artificielle, il affiche des images en mode 4K UHD qui gagnent en netteté, contraste et couleurs. En prime, un son signé Bowers & Wilkins avec dix haut-parleurs d'une puissance totale de 70 watts. À choisir en trois tailles, 48, 55 et 65 pouces.

Philips TV Ambilight OLED+935. Prix indicatif : **à partir de 2 199 €**

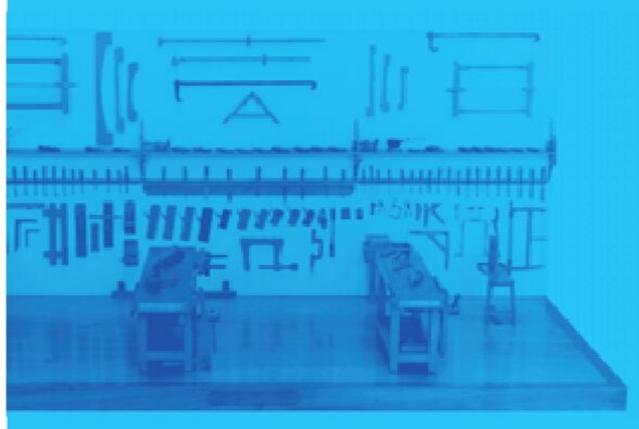
Nettoyage de précision

▶ Dans cette catégorie de prix, c'est l'un des plus fins du marché. Avec tout juste six centimètres de hauteur, cet aspirateur robot se glisse tout seul jusque sous les meubles et, grâce à son système de navigation méthodique, va chercher la poussière au plus près des murs en toute autonomie. Un filtre haute performance capture 99,9 % des particules fines. Enfin, son application connectée permet de le mettre en marche à n'importe quel moment et de n'importe où.

Rowenta Explorer Série 60. Prix indicatif : **349 €**

musée
DES arts et métiers
le cnam

16.10.20
> 07.03.21



Top Modèles

Une leçon princière
au XVIIIe siècle

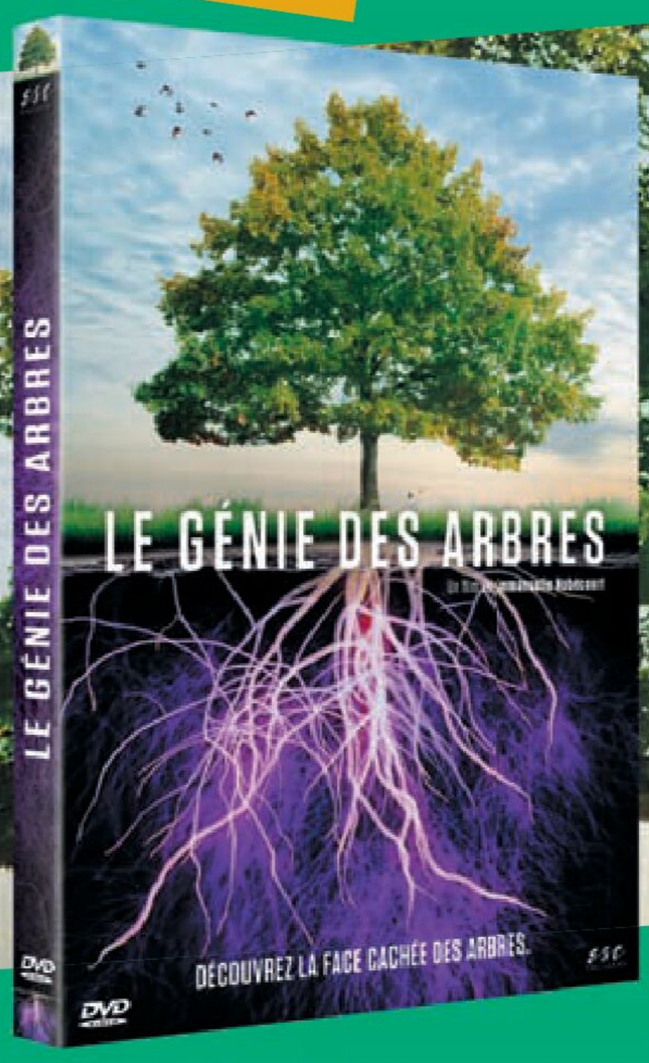
Conception graphique : atelier Pentagon,
assisté par Zélie Peyrichou

artsetmetiers
musee.des.arts.et.metiers
museedesartsetmetiers
#ExpoTopModèles

Insert · Le Parisien · L'Histoire · Historia · Petit Quotidien · Quotidien

LE GÉNIE DES ARBRES

LA FNAC AIME



LA VIE FACILE AVEC LE SERVICE FNAC

CLICK & 1H COLLECT

•5 · france•tvdistribution · PROCIREP ANGOA · INRAE · ESC EDITIONS

© Hauteville Productions - INRAE – 2020 - Avec l'aide du CNC et de la PROCIREP-ANGOA
© ESC EDITIONS 2020. Photos: © Olivier Marquézy / Hauteville Productions / INRAE

fnac.com

Isolation sonore

▶ Grâce à une reconnaissance des volumes sonores ambiants, ces écouteurs adaptent automatiquement le niveau de réduction de bruit à vos envies : Cozy, pour les endroits calmes, General pour les lieux plus animés, et Ultra pour un isolement total, en train ou en avion. Les branches tactiles offrent nombre d'options (prise d'appels, réglage du volume, réduction de bruit, changement de titre…) et évitent d'avoir à sortir son smartphone. En prime, une excellente autonomie (30 heures avec la charge étui) et une compatibilité recharge sans fil (QI).

Huawei Freebuds Pro. Prix indicatif : **199,99 €**

Coach de santé

▶ Bardée de capteurs (accéléromètre, podomètre, cardiofréquencemètre, électrocardiogramme…), la dernière version de la montre la plus vendue au monde s'enrichit d'un oxymètre pour mesurer la saturation du sang en oxygène (SpO_2). Tout juste 30,5 grammes de monitoring au poignet.

Apple Watch Series 6.
Prix indicatif : **à partir de 429 €**

Flux lumineux

▶ Connectée, cette lampe de bureau orientable à 360° s'adapte à la luminosité extérieure, mais aussi à l'activité, à l'intensité et à la chaleur lumineuse voulues, et même à l'âge de son utilisateur, une personne de 65 ans ayant ainsi besoin de quatre fois plus de lumière qu'une personne de 20 ans. Des paramètres à saisir dans l'application Dyson Link. La lampe comprend également un détecteur de mouvement.

Dyson Lightcycle Morph. Prix indicatif : **549,99 €**

Air pur

▶ Un air d'intérieur de qualité contribue à une bonne hygiène de vie et à une meilleure santé. Grâce à son filtre HEPA qui élimine 99,7 % des microparticules, aussi fines que 0,3 micromètre, ce purificateur d'air aide à combattre les symptômes des allergies. Peu énergivore (moins de 1 kWh par jour), il est efficace dans des espaces jusqu'à 45 m^2. Son écran tactile affiche toutes les données sur la qualité de l'air ambiant en temps réel. Compatible avec Google Assistant et Amazon Alexa.

Xiaomi Mi Air Purifier 3H. Prix indicatif : **199,99 €**

Bon son chez soi

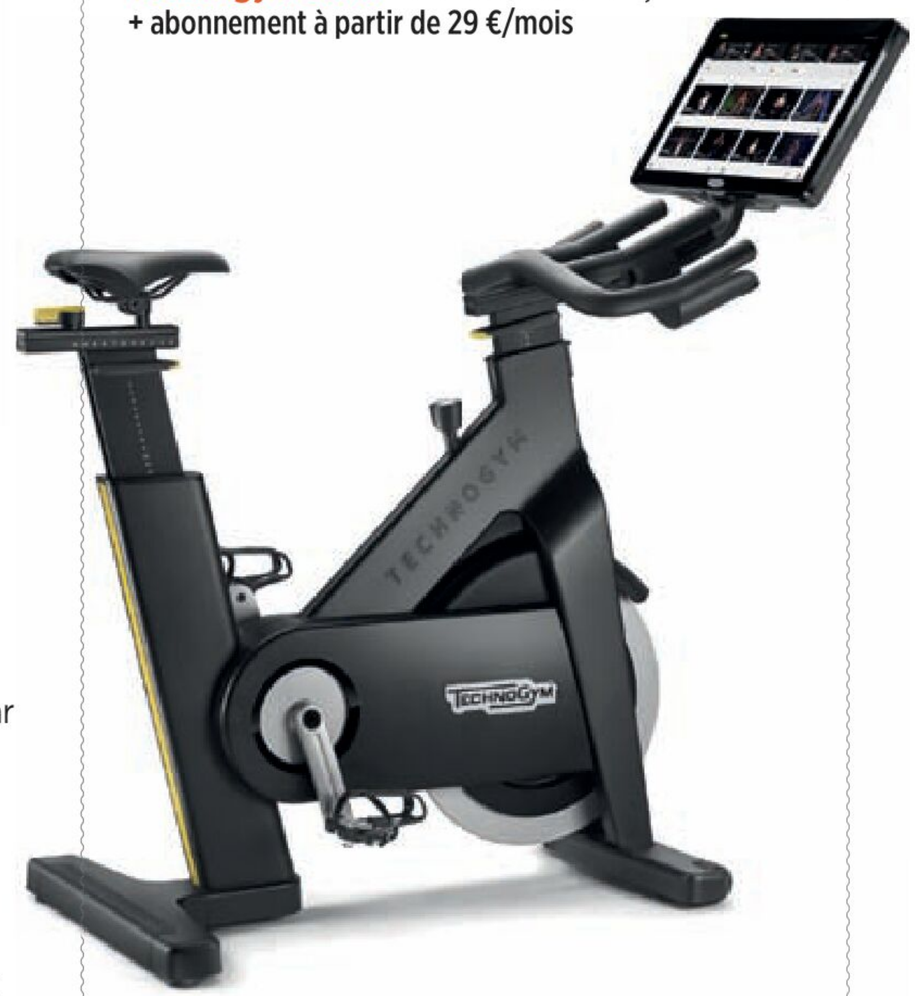
▶ Plus besoin de casque sur les oreilles pour se plonger dans un film. L'enceinte amplifiée Sony améliore la qualité audio de votre téléviseur grâce à trois haut-parleurs sans pour autant vous isoler du reste de la maison. Pratique, la petite enceinte (1,3 kg) est dotée d'une poignée ainsi que d'une télécommande universelle pour continuer d'écouter son programme TV dans une autre pièce. Fonctionne avec tous les téléviseurs.

Sony SRS-LSR200. Prix indicatif : **200 €**

Entraîneur à domicile

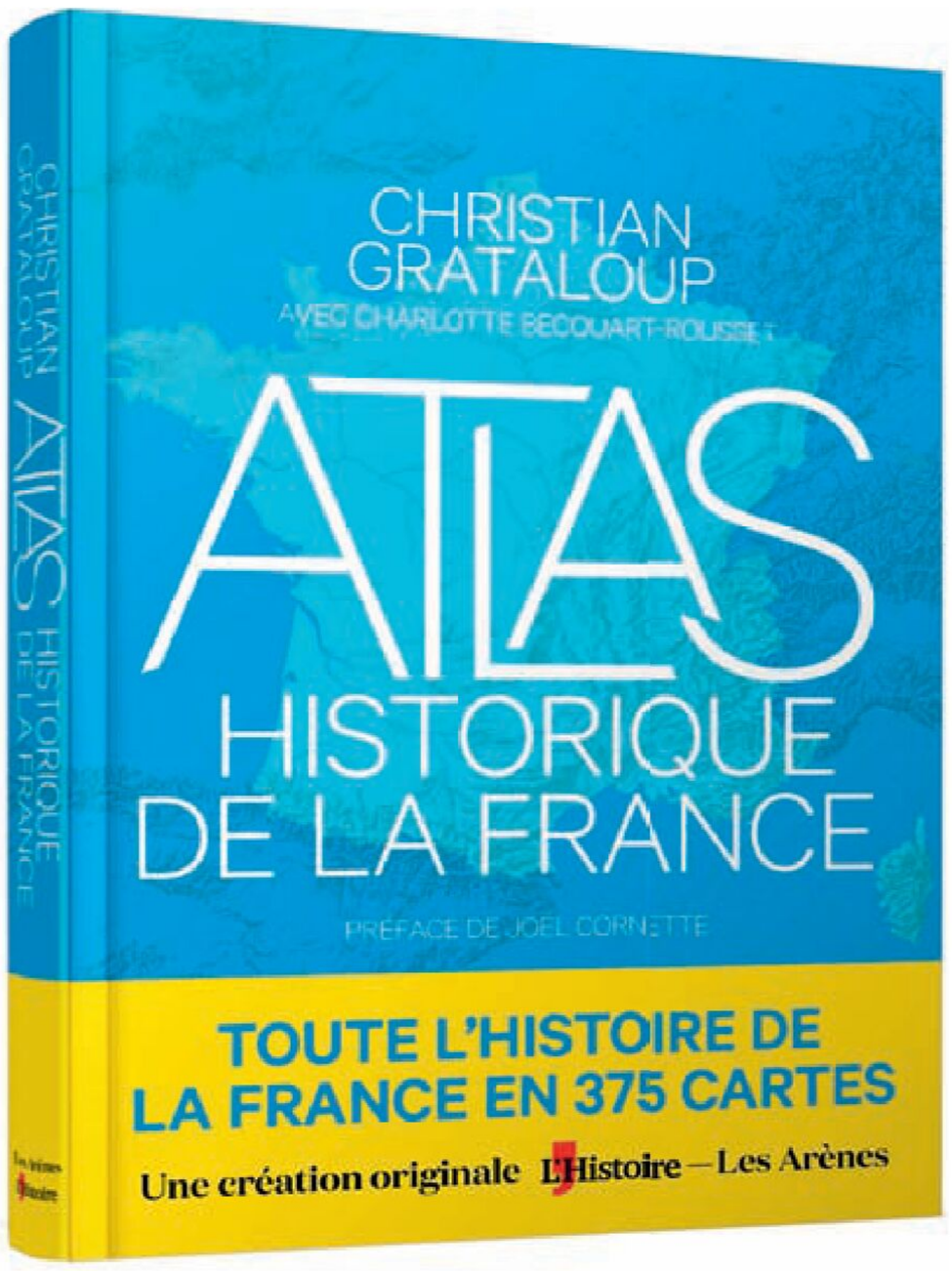
▶ Un vélo d'appartement connecté et ultra-design. Il est fourni avec une interface de coaching et d'exercices en ligne qui permet de suivre en direct des cours de *cycling* (cyclisme) depuis des salles de fitness à Londres, Milan et bientôt aux États-Unis et en Asie.
Appli Mywellness compatible avec l'Apple Watch ou la Samsung Galaxy Active2 pour suivre ses activités et sa fréquence cardiaque.

Technogym Bike. Prix indicatif : **2 950 €, + abonnement à partir de 29 €/mois**



L'atlas le plus complet sur l'histoire de la France !

NOUVEAUTÉ



375 cartes pour raconter toutes les étapes de l'histoire de notre pays, **de ses origines les plus lointaines à nos jours**.

En s'appuyant sur les fonds cartographiques de *L'Histoire* et grâce au concours de grands historiens, les auteurs ont réalisé un atlas à la fois **exhaustif** et **à la pointe** des dernières avancées de la recherche.

Un outil indispensable pour comprendre notre histoire.

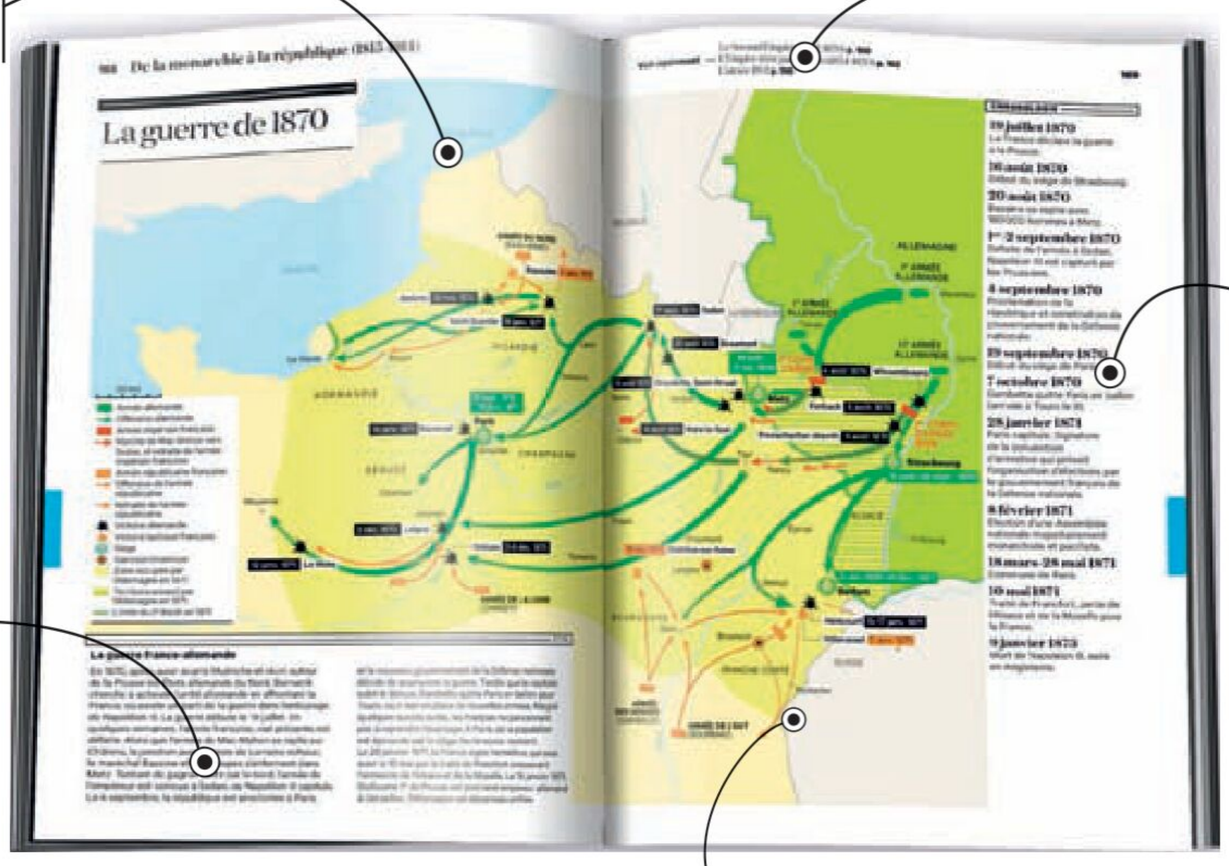
320 pages — 24,90 €

Des cartes de grande taille et très lisibles

Des renvois de carte à carte

Des chronologies détaillées

Des commentaires historiques



Toutes les cartes sont téléchargeables en PDF sur le site : www.lhistoire.fr/atlas

L'Histoire Les Arènes

La Recherche

« J'appelle à une régulation démocratique de la parole publique en ligne »

Dans son essai « Les Nouvelles Lois du web » (Seuil), Romain Badouard, spécialiste de la gouvernance et de la régulation d'Internet, esquisse des pistes pour que la Toile demeure un outil au service de la liberté d'expression.

ROMAIN BADOUARD

Romain Badouard
est maître de conférences en sciences de l'information et de la communication à l'université Paris-II Panthéon-Assas, et chercheur au Centre d'analyse et de recherche interdisciplinaires sur les médias.
Il a notamment publié *Le Désenchantement de l'Internet* (FYP, 2017).

« L'une des évolutions majeures qu'a connues le Web ces dix dernières années, c'est un phénomène de recentralisation par les usages. Nous, les internautes, avons massivement concentré nos usages sur YouTube, Twitter, Facebook... Faire passer les flux de communication et de données par les serveurs de ces grandes plates-formes américaines a eu une incidence : nous leur avons donné une place de premier plan dans le débat démocratique ; elles se sont retrouvées en position de surveiller et d'encadrer les échanges publics se déroulant *via* leurs services. Cela nous a conduits à un paradoxe démocratique. D'un côté, nous vivons, à bien des égards, un âge d'or de la liberté d'expression, car il n'a jamais été aussi facile de prendre la parole en public et de faire entendre ses opinions. De l'autre, jamais les pouvoirs de contrôle (limitation, filtrage, blocage même) de cette parole n'ont été concentrés dans les mains de si peu d'acteurs privés.

Le pouvoir de ces plates-formes a d'ailleurs été renforcé par l'adoption de différentes lois en Europe liées à la régulation des contenus sur les réseaux sociaux qu'elles sont sommées d'appliquer. On peut citer, en France, la loi contre la manipulation de l'information (dite loi *fake news*, 2018) et, en Allemagne, la NetzDG (2018), elle aussi destinée à sanctionner les *fake news* ainsi que les contenus haineux. Ces textes se révèlent problématiques à plusieurs niveaux. D'abord, parce que les États délèguent un pouvoir généralement exercé par les juges à des entreprises privées : celui du filtrage de l'expression publique et, au besoin, de sanction. Or, les standards de publication et de "curation" de ces plates-formes sont, le plus souvent, opaques. Autre problème : ces lois prévoient des amendes contre les plates-formes si elles ne retirent pas les contenus qui leur sont signalés sous vingt-quatre heures. Cela fait courir un risque de censure abusive : par prudence, les grandes firmes du Web préféreront bloquer des contenus, même légitimes, signalés comme faux ou haineux, plutôt que de prendre le risque d'une amende *(lire aussi la chronique p. 105)*.

À cela s'ajoutent d'autres difficultés. En particulier, le fait que la plupart des contenus problématiques sont des contenus « gris », ni ouvertement haineux (ils passent par des sous-entendus), ni forcément clairement faux. Ils nécessitent donc une interprétation en contexte pour décider s'ils sont légitimes ou pas, ce dont les moyens de modération sur lesquels s'appuient les plates-formes sont incapables, qu'ils s'agissent d'outils automatiques — les algorithmes appliquent un raisonnement binaire : autorisé ou interdit — ou d'employés humains — faute de temps disponible. On estime par exemple que les modérateurs opérant pour Facebook traitent environ 2000 images par heure !

EXTRAIT

« Profondément marqués par des idéaux libertaires, les pionniers [du Web] ont cherché à travers leurs inventions à défendre une conception absolue de la liberté d'expression. L'architecture décentralisée d'Internet, ou le fonctionnement de ses protocoles techniques, qui garantissent la séparation des fonctions de transport et de traitement de l'information, avaient pour mission de rendre opérationnels les principes du libéralisme informationnel, selon lequel la liberté de circulation des informations ne doit souffrir d'aucun obstacle, quel qu'il soit. »

Les Nouvelles Lois du web. Modération et censure, Romain Badouard, Seuil, 128 p., 11,90 €

DHIRAJ SINGH/BLOOMBERG / GETTY IMAGES

Des tweets affichés dans les locaux de Boom Live, à Bombay en Inde, en mars 2019. Boom Live est l'une des sept sociétés chargées par Facebook de faire du *fact checking* (vérification des faits) pendant la campagne pour les élections législatives indiennes de 2019.

Face à cette nouvelle donne, j'appelle à la mise en place d'une régulation démocratique de la parole publique en ligne. Elle passe par l'intervention de différents types d'acteurs dans la chaîne. Certes, il est légitime que les plates-formes modèrent leurs propres réseaux, personne ne remet cela en cause. Mais il est nécessaire qu'elles collaborent avec des professionnels — ce que fait Facebook, par exemple, en travaillant avec des journalistes dans la vérification des faits — et qu'elles reconnaissent aux internautes « ordinaires » le droit de jouer un rôle. Ce travail de modération doit en outre être exposé à une forme de contrôle par les pouvoirs publics ; celui-ci pourrait prendre la forme d'une agence publique indépendante. Des pays européens se sont déjà engagés sur cette voie, le Royaume-Uni, l'Allemagne et la France notamment. Il faut maintenant s'assurer que ces futures institutions disposeront des moyens d'inspecter la manière dont les données sont extraites, compilées, structurées et transmises. Enfin, il convient d'intégrer à une réflexion globale sur l'économie de l'attention les annonceurs et les régies publicitaires, qui ont aussi un rôle dans la propagation des discours de haine et des fausses informations. C'est à ces seules conditions que nous arriverons à des formes de modération plus ouvertes et plus démocratiques. » ■

> « Le contrôle par les pouvoirs publics pourrait prendre la forme d'une agence indépendante »

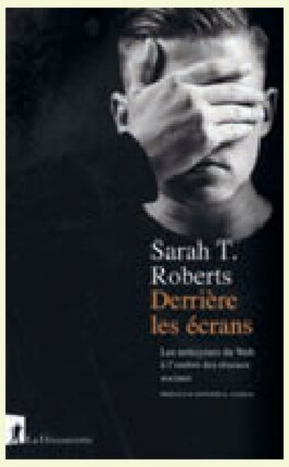
Propos recueillis par Vincent Glavieux @vglavieux

SUR LE MÊME THÈME

La vindicte numérique

MÉCANIQUE Twitter, ses messages courts, ses contenus partagés, ses utilisateurs qui se suivent mutuellement. Et ses harcèlements sauvages, ses déferlantes de haine qui s'abattent sur une personne. L'auteur, journaliste britannique, détaille la mécanique de l'humiliation publique sur les réseaux sociaux en revenant sur des histoires réelles dont il fait parler, parfois dans la douleur, les protagonistes. Le phénomène est si pernicieux que certains bourreaux sont devenus victimes quand d'autres ont joué ce rôle sans le vouloir. À commencer... par l'auteur lui-même, comme il le raconte en ouverture de ce livre sidérant. ■ **A. D.**

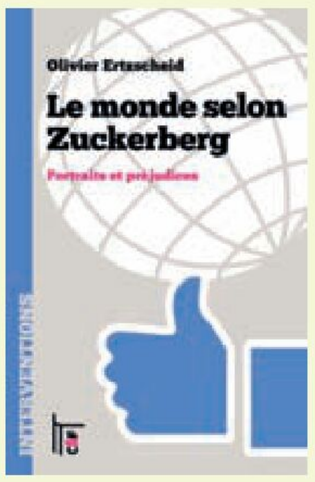
La Honte ! Jon Ronson, Sonatine, 304 p., 21 €



Dans les coulisses des réseaux sociaux

SOUS-TRAITANCE Facebook vante souvent sa capacité à modérer les contenus par la technologie. La réalité est plus nuancée. La modération, sur ce genre de plate-forme, est en bonne partie faite à la main, par des armées de sous-traitants, parfois simples particuliers payés à la tâche dans les pays pauvres. Professeure en sciences de l'information, Sarah T. Roberts s'est entretenue avec des modérateurs. Entre conditions de travail discutables et mise en danger psychologique, ce panorama montre aussi comment ces grands acteurs du Web édictent leurs propres règles sur ce qui peut être publié ou non. ■ **A. D.**

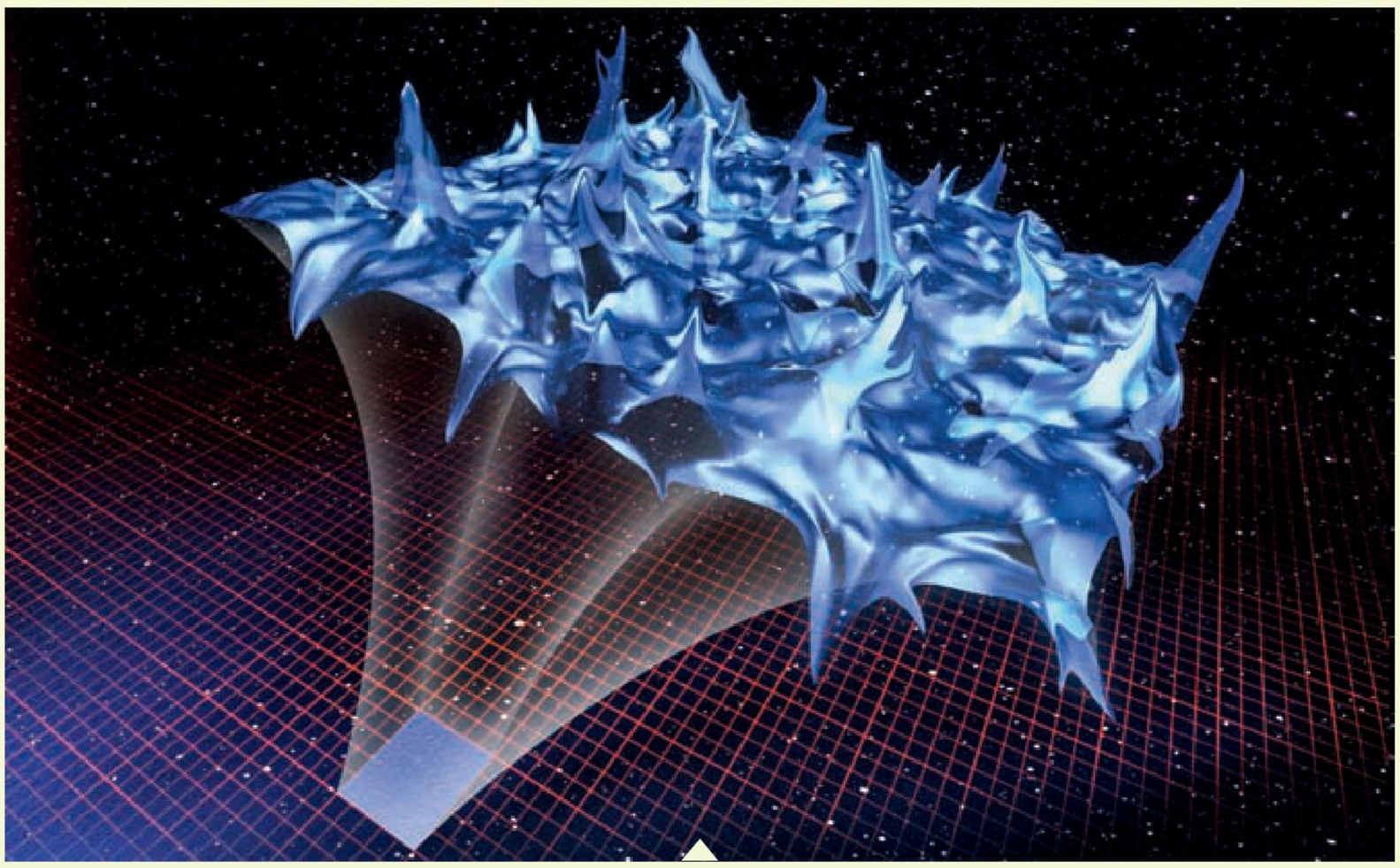
Derrière les écrans, Sarah T. Roberts, La Découverte, 264 p., 22 €.



La privatisation d'un espace public

CLOISONNEMENT Le Web n'existe plus. Ou quasi. Outre sa marchandisation extrême, où même l'internaute se monnaye, les réseaux sociaux sont des univers fermés sur eux-mêmes et les applications mobiles forment une myriade de petits mondes cloisonnés. Ce qui faisait la valeur d'Internet, le lien hypertexte, n'a plus cours. En une galerie de portraits (Mark Zuckerberg, Tim Berners-Lee, Sergueï Brin et Larry Page) et de courts essais pertinents et originaux, l'auteur, maître de conférences à l'université de Nantes, fait de l'Internet d'aujourd'hui un paysage déroutant. ■ **A. D.**

Le Monde selon Zuckerberg, portraits et préjudices, Olivier Ertzscheid, C&F éditions, 112 p., 15 €.



GRÉGOIRE CIRADE/SCIENCE PHOTO LIBRARY

La gravité quantique, que les chercheurs tentent d'élaborer, pourrait permettre de résoudre nombre de mystères de l'Univers (illustration).

L'essence de la réalité

Que sait-on de l'histoire de notre univers ? C'est ce que nous raconte Jean-Pierre Luminet, astrophysicien et vulgarisateur de talent, dans ce livre exhaustif et passionnant.

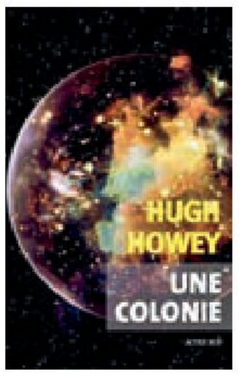
VERTIGINEUX MYSTÈRE L'ambition est annoncée d'emblée : donner un aperçu des théories qui permettent de comprendre l'Univers, son origine, son histoire et son futur. Bref, un condensé d'astrophysique et de cosmologie. Le pari ? Aller plus loin que les habituelles théories des cordes ou de gravitation quantique à boucle qui occupent le devant de la scène de vulgarisation depuis plus de vingt ans. Explorer les recoins des théories et des modèles, mettre en avant le rôle des trous noirs, objet d'étude favori de l'auteur. Il en résulte un livre dense, mais qui parvient sans nul doute *« à rendre moins innommable le vertigineux mystère du monde qui nous entoure et nous fait »*. *« Nous fait »*, en effet, car nous sommes, à en croire les chercheurs, le fruit des fluctuations primordiales du vide quantique. Le vide quantique, pas vraiment vide, qui présidait au commencement de l'Univers. Ces fluctuations ont donné naissance aux étoiles, aux galaxies et finalement à notre Terre et à tout ce qui nous entoure. Si nos connaissances ont considérablement avancé depuis quelques siècles, force est de constater qu'il reste de grandes interrogations. Qu'est-ce que cette mystérieuse matière noire, dont on déduit l'existence par ces effets sur le mouvement des étoiles dans les galaxies, mais qu'on ne voit pas ? *Quid* de l'énergie sombre, qui accélérerait l'expansion de l'Univers et dont la nature nous échappe ? Et si la solution venait d'une théorie unifiant gravitation et physique quantique ? Cette gravité quantique n'existe pas encore malgré de nombreux efforts d'unification, présentés ici de manière exhaustive, mais sans fioritures mathématiques qui obscurcissent le propos. Un livre qui amène à réfléchir sur notre propre existence. Pari réussi pour le lecteur qui y trouvera indubitablement, écrit dans une belle langue, *« quelques pierres durables »*. ■

Philippe Pajot

L'Écume de l'espace-temps, Odile Jacob, 352 p., 23,90 €

Rêves d'un autre monde

SURVIE Ils sont 500 en croissance dans des cuves, abreuvés de substances vitales et de connaissances par une intelligence artificielle, programmés pour être activés à 30 ans et coloniser une planète. Mais un violent accident en réveille une soixantaine à mi-chemin… Ce roman confirme l'exceptionnel talent de créateur d'univers de Hugh Howey. Il incarne avec force une lutte d'ados pour la survie qui, dans un décor à la Jules Verne, se mue en parcours initiatique. Et bâtit une aventure dont le fil rouge est le choix d'une vie construite sur d'autres valeurs que celle d'une alchimie lucrative. ■ **A. De B.**



Une colonie, Hugh Howey, Actes sud, 304 p., 22 €

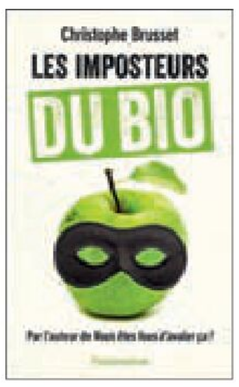
La longue histoire de l'homme et du climat

INTERDÉPENDANCE Les sociétés occidentales n'ont pas attendu le XXe siècle pour se préoccuper de l'évolution du climat ! Dès le XVe siècle, racontent les auteurs de ce passionnant ouvrage, les hommes évoquent *« les pluies taries, des vents changés, des froids et chauds jusque-là inconnus »*. Ils s'interrogent sur les effets de l'action humaine : *« déboiser, transformer le sol et le couvert végétal de la planète, modifierait le cycle de l'eau et donc le climat »*. Dans cette enquête développée à travers dix thèses, on découvre par exemple comment la colonisation de l'Amérique a aussi été *« une normalisation climatique »*, dans son projet *« d'améliorer le climat du continent par le défrichement et la mise en culture »*. Un discours de domination où la colonisation se pensait aussi comme *« une entreprise de restauration de la Nature »*. ■ **B. A.**

Les Révoltés du ciel, Jean-Baptiste Fressoz, Fabien Locher, éditions du Seuil, 303 p., 23 €

Démêler le bon bio du mauvais

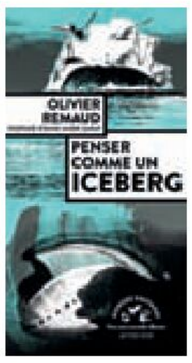
ENQUÊTE Alerte dans les rayonnages bio : les arnaques y fleurissent au gré de labels trompeurs. Surfant sur l'augmentation constante de la consommation de ces produits, les industriels de l'agroalimentaire mettent à profit des législations bancales pour proposer des aliments qui ne respectent pas les cahiers des charges, sont souvent importés de loin et coûtent cher à l'achat. L'auteur de *Vous êtes fous d'avaler ça* (Flammarion) retrace l'histoire des pionniers du bio, éclaire sur ses bienfaits supposés ou réels sur la planète et trace des pistes pour s'orienter dans la jungle des certifications. Instructif et utile. ■ **A. De B.**



Les Imposteurs du bio, Christophe Brusset, Flammarion, 302 p., 19 €

Grand acteur de glace

COHABITATION Pour les marins et explorateurs du XIXe siècle, l'iceberg représentait une menace surgissant de la brume, une montagne de glace d'une *« inquiétante étrangeté »*, un paysage primitif pétrifié. Deux siècles d'explorations et de missions scientifiques plus tard, nous avons compris qu'il est un acteur à part entière d'un monde de glaces, un spectaculaire rejeton des glaciers polaires. Il poursuit ensuite son destin en ensemençant les océans de phytoplancton, premier maillon de la chaîne alimentaire. Le philosophe Olivier Remaud retrace avec délicatesse deux siècles d'évolution de la pensée scientifique sur les mondes glacés de l'Arctique et de l'Antarctique. ■ **S. R.**



Penser comme un iceberg, Olivier Remaud, Actes Sud (Mondes sauvages), 225 p., 22 €

Manipuler le code génétique

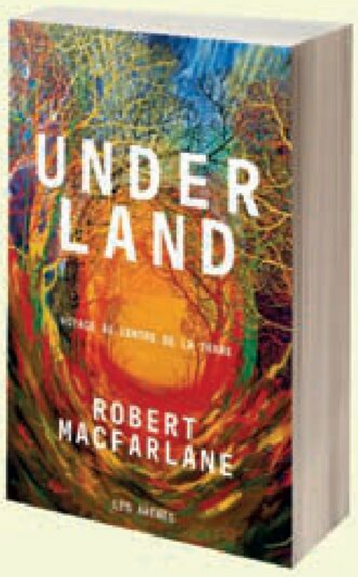
RÉVOLUTION La biochimiste américaine Jennifer Doudna vient d'être récompensée, avec la Française Emmanuelle Charpentier, par un Nobel pour ses travaux sur CRISPR-Cas9, ces ciseaux moléculaires capables de couper les brins d'ADN avec plus de rapidité et de facilité que ce qui existait auparavant. Les applications sont nombreuses : agriculture, élevage, santé humaine. Une révolution qu'il est possible d'appréhender grâce à ce livre, où Jennifer Doudna expose avec clarté ses recherches et ses réflexions. ■ **M. G.**

Un coup de ciseaux dans la Création, Jennifer Doudna, Samuel Sternberg, H&O, 348 p., 23 €

Drôle de science

CURIOSITÉ Prenez 28 situations de la vie courante — creuser un trou, recharger son téléphone portable, se faire des amis, etc. Maintenant, imaginez les méthodes les plus loufoques pour accomplir ces tâches. Vous obtiendrez ce livre, le deuxième de Randall Munroe. Physicien de formation, cet Américain s'est fait connaître en tant que dessinateur : c'est lui qui a créé la géniale bande dessinée en ligne *xkcd*. Ici encore, son humour et sa créativité font merveille ; ils contribuent à transformer des propositions absurdes en mini-récits captivants, où les explications scientifiques, de bonne tenue, se mêlent à des dessins simples et efficaces. Bref, si vous vous demandez quel est le lien entre l'envoi d'un fichier informatique et les papillons monarques, entre la prise d'un bon selfie et l'occultation d'une étoile par un astéroïde (du point de vue de la Terre), ou entre ce livre et un voyage sans retour vers le Soleil, cette lecture est faite pour vous. **Vincent Glavieux**

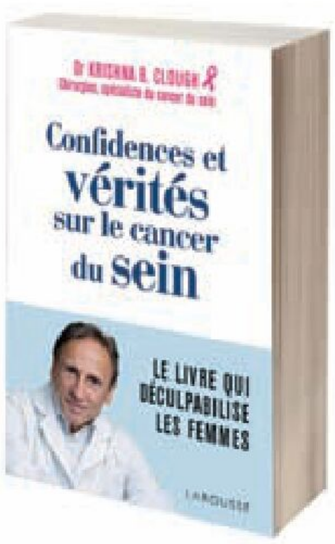
Et comment... ?
Randall Munroe, Flammarion, 310 p., 21,90 €



Exploration en sous-sol

ODYSSÉE C'est une immersion dans le temps profond. Celui qui *« se lit dans la roche, la glace, les stalactites »*. Au creux duquel on rampe, dans des labyrinthes suintants. Une descente dans des abîmes qui recèlent ce que l'homme a voulu protéger et ce qu'il a désiré cacher. Aux émouvantes sépultures mésolithiques des Mendips, en Angleterre, font écho les rouges danseurs gravés dans les grottes des Lofoten, en Norvège. Aux recherches sur la matière noire menées au fond d'une mine de sel dans le Yorkshire répond l'édification de la ténébreuse cache d'Onkalo, en Finlande, ultime abri de nos déchets nucléaires. Et à l'émerveillement face à la révélation des réseaux souterrains de communication entre les arbres succède la crainte claustrophobe de l'exploration des catacombes parisiennes. Ces sept ans d'enquête stupéfiante racontés à la première personne regorgent d'informations scientifiques, de réflexions écologistes et d'interrogations philosophiques autour de l'héritage que laissera l'anthropocène : *in fine*, *« saurons-nous devenir de bons ancêtres ? »* **Andreina De Bei**

Underland. Voyage au centre de la Terre, Robert Macfarlane, Les Arènes, 512 p., 24,90 €



Un stop à la culpabilité

MISE AU POINT *« À partir de maintenant, vous êtes pour moi la personne la plus importante du monde »* : telle est la phrase sécurisante que peuvent entendre les patientes en entrant dans le bloc chirurgical de l'auteur, chirurgien et cancérologue, fondateur de l'Institut du sein à Paris. La confiance et l'empathie émanent ainsi de l'ensemble de cet ouvrage, qui tord le cou à nombre d'idées reçues sur le cancer du sein, de la première consultation aux traitements, données scientifiques et médicales à l'appui. L'humanité du médecin, ses prises de position, son optimisme étayé ont de quoi redonner confiance à toutes les *« héroïnes »* qui affrontent cette maladie. ■ **E. S.**

Confidences et vérités sur le cancer du sein, Dr Krishna B. Clough, Larousse, 150 p., 14,95 €

EXPOSITIONS

Bordeaux (33)

Sentinelles du climat
Grâce aux espèces locales étudiées par les scientifiques, une expérience pour se projeter dans les futurs paysages de Nouvelle-Aquitaine transformés par le changement climatique.
Muséum de Bordeaux, 5, place Bardineau, jusqu'au 25 avril 2021. Rens. : 05.24.57.65.30.

Chambéry (73)

Electrosound, dans les coulisses du son
L'envers du décor d'une salle de spectacle pour tout ce qui touche au son et à la lumière.
Galerie Eurêka, 150, rue de la République, jusqu'au 6 mars 2021. Rens. : 04.79.60.04.25.

Genève (Suisse)

Wildlife Photographer of the Year
Présentés pour la première fois à Genève, les lauréats du 55e concours international de photographie organisé par le muséum d'Histoire naturelle de Londres en 2019.
Muséum d'Histoire naturelle, 1, route de Malagnou, jusqu'au 27 juin 2021. Rens. : +41 (0)22. 418. 50.60.

Guiry-en-Vexin (95)

Bling-bling les Gaulois ?

À la découverte des bijoux et des accessoires que les Gaulois arboraient pour afficher leur réussite.
Musée archéologique du Val d'Oise, 4, place du Château, jusqu'au 5 septembre 2021. Rens. : 01.34.33.86.00.

Laval (53)

Super égaux
L'égalité des sexes à la naissance, l'enfance, l'adolescence et l'âge adulte, de l'identification du sexe d'un bébé aux inégalités professionnelles en passant par la construction du genre. Dès 6 ans.
Le Zoom, musée des Sciences, 21, rue du Douanier-Rousseau, jusqu'au 21 mars 2021. Rens. : 02.43.49.47.81.

Lyon (69) / Exposition

Makay, un refuge en terre malgache

EVRARD WENDENBAUM - NATUREVOLUTION

Massif de grès sculpté par l'érosion, le Makay est un important réservoir d'eau douce.

Makay : c'est le nom d'une forteresse minérale en forme de cervelet géant s'élevant au sud-ouest de Madagascar. Ce massif de grès de 4000 km² a été sculpté par des millénaires d'érosion. Deux mondes s'y opposent : celui minéral et sec des crêtes et plateaux et celui luxuriant des canyons, où ruisselle l'eau emmagasinée dans les roches poreuses. Protégé par ces reliefs, le réseau inextricable des canyons est devenu un paradis pour la biodiversité.
Un site exceptionnel demeuré vierge de toute exploration scientifique jusqu'en 2007, lorsque l'explorateur français Evrard Wendenbaum y pénétra. Il y reviendra trois ans plus tard, avec deux équipes scientifiques qui vont réaliser le premier inventaire de la flore et la faune, découvrant à cette occasion des espèces endémiques au massif ! L'exposition est une invitation à parcourir ce spectaculaire « coffre-fort » de la biodiversité dans les pas des chercheurs, de jour comme de nuit, en s'appuyant sur les vidéos, les clichés et les dessins réalisés au cours de leurs expéditions. Elle alerte aussi sur l'avenir du Makay, menacé par l'élevage extensif du zébu. Les nouveaux pâturages sont gagnés chaque année en brûlant une superficie de forêts primaires équivalente à dix fois la ville de Paris, des feux qui commencent à gagner le Makay... Et c'est compter sans les vols de zébus — dont la valeur représente une année de revenus —, ensuite cachés dans le Makay où ils piétinent les sols et leur couvert végétal... Des constats qui ont conduit à la création de la Nouvelle Aire protégée du Makay en 2015. ■ **Sylvie Rouat**
Musée des Confluences, 86, quai Perrache, jusqu'au 22 août 2021. Rens. : 04.28.38.12.12.

Montpellier (34)

En route ! La voie Domitienne du Rhône aux Pyrénées
Plus ancien monument romain du Languedoc méditerranéen, cette route qui reliait l'Italie à l'Espagne se révèle ici au travers d'un bilan de fouilles récentes.
Lattes, site archéologique Lattara-musée Henri-Prades, 390, route de Pérols, jusqu'au 3 mai 2021. Rens. : 04.67.99.77.20.

Nantes (44)

Hypnose
Une exploration inédite des siècles d'expérimentations menées par des pionniers tels Franz Anton Mesmer et Charcot qui met en lumière la fascination des arts moderne et contemporain pour cette pratique controversée.
Musée d'Arts, 10, rue Georges-Clemenceau, jusqu'au 31 janvier 2021. Rens. : 02.51.17.45.00.

Paris (75)

Top modèles
Un parcours à la découverte des pratiques d'enseignement imaginées par la comtesse de Genlis, gouvernante des enfants du duc de Chartres, dont le futur roi Louis-Philippe, en mettant à l'honneur onze modèles réduits d'atelier, fleurons de la collection du musée.
Musée des Arts et Métiers, 60, rue Réaumur, jusqu'au 7 mars 2021. Rens. : 01.53.01.82.63.

Toulouse (31)

De l'amour
Conçue par le Palais de la découverte, cette exposition donne la parole aux artistes et aux scientifiques pour embrasser les territoires amoureux.
Lire notre visite à Paris : sciav.fr/886amour
Quai des savoirs, 39, allées Jules-Guesde, du 11 décembre au 5 septembre 2021. Rens. : 05.67.73.84.84.

Retrouvez toutes les expositions dans notre guide Internet : **sciav.fr/guideexpos**

LE CIEL DE DÉCEMBRE

PAR JOHAN KIEKEN

Où sont les planètes ?

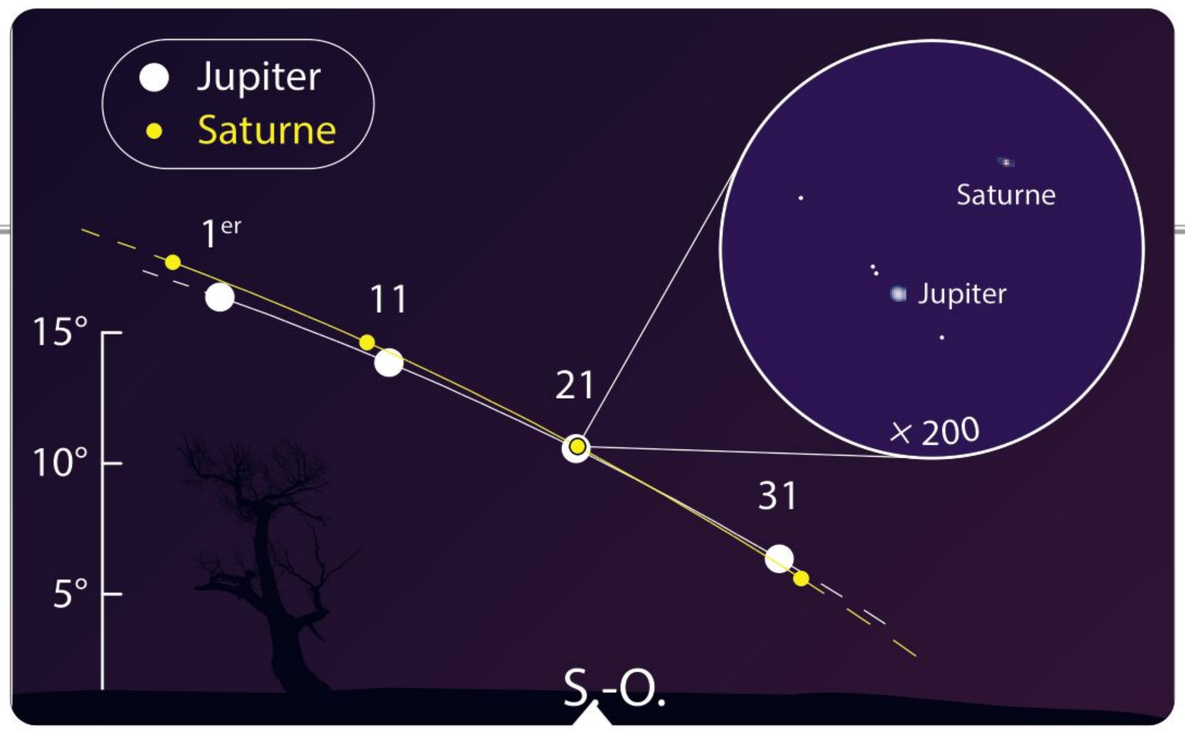
MERCURE La petite planète n'est pas visible ce mois, totalement noyée dans les lumières du Soleil. Elle passe en conjonction supérieure le 20.

VÉNUS L'étincelante étoile du Berger n'est plus observable qu'en toute fin de nuit et au petit matin, basse dans la direction du levant. Plus les jours passent, plus les conditions d'observation se dégradent : le 1er, elle se glisse au-dessus de l'horizon 2 h 30 avant le Soleil et 30 jours plus tard, seulement 1 h 30 avant lui.

MARS La planète Rouge se trouve encore dans de très bonnes conditions de visibilité, bien que son éclat ait perdu de sa superbe depuis octobre. Elle est observable dès la tombée de la nuit à bonne hauteur vers le sud-est, culmine en soirée à 50° environ et se couche en seconde partie de nuit. Point brillant couleur caramel, elle passe le mois dans les Poissons, une constellation bien terne.

JUPITER La planète géante est visible en soirée, vers le couchant. Très brillante, elle quitte le Sagittaire et entre dans le Capricorne le 18. Ne manquez pas son rapprochement spectaculaire avec Saturne le 21 *(lire ci-contre)* !

SATURNE La planète aux anneaux, très proche de Jupiter ce mois *(lire ci-contre)*, partage ses conditions d'observation, mais est beaucoup moins brillante.



Nous sommes 1 h après le coucher du Soleil. Les positions de Jupiter et Saturne sont données tous les 10 jours, du 1er au 31 décembre.

La Grande Conjonction du 21

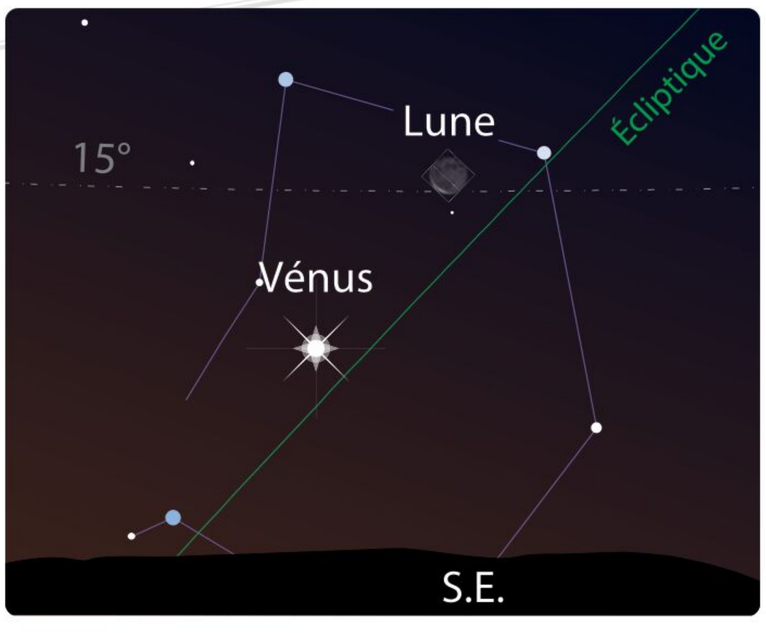
TOUS LES VINGT ANS ENVIRON, les planètes Jupiter et Saturne se trouvent très proches l'une de l'autre dans notre ciel. Ce rapprochement porte le nom de Grande Conjonction. Celle de décembre sera spectaculaire, les deux astres n'étant séparés que par 0,1° le 21, soit 1/5 du diamètre apparent de la Lune.

Notre conseil Assurez-vous d'abord de disposer d'un horizon sud-ouest bien dégagé. Jupiter devrait alors être perceptible au premier coup d'œil. Un examen plus attentif vous dévoilera Saturne. Vous pourrez suivre les deux planètes à l'œil nu ou aux jumelles.

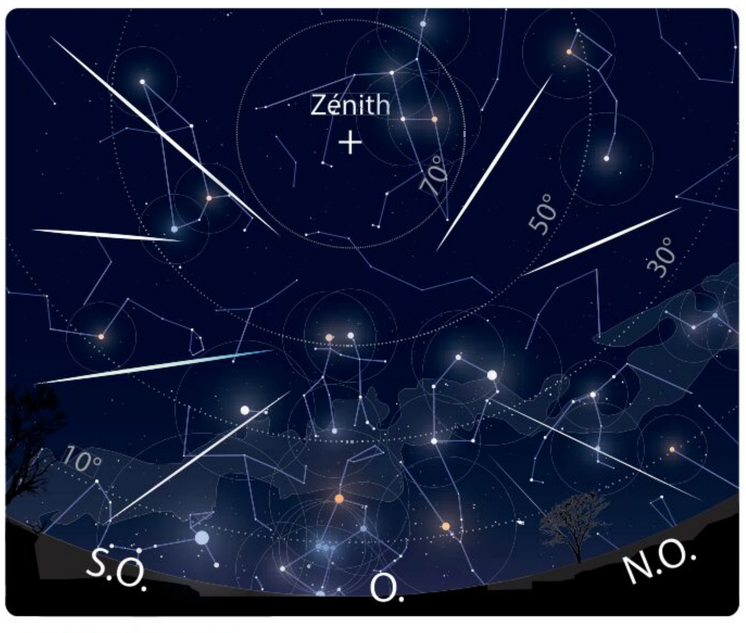
Retrouvez la carte du ciel sur sciav.fr

L'appli du mois

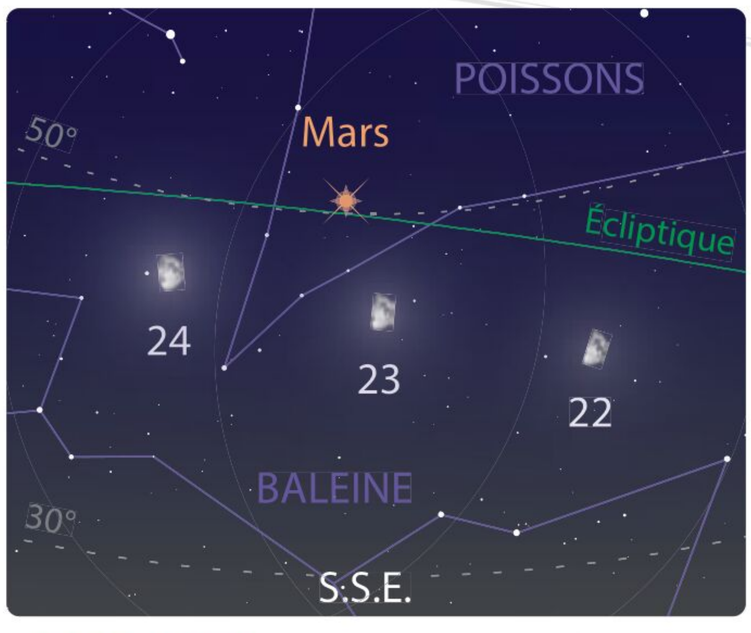
STELLARIUM MOBILE est une application gratuite en français pour iOS et Android, dont il existe une version payante plus complète. Fluide, simple d'utilisation et dotée de jolis graphismes, elle fournit une carte réaliste du ciel nocturne et vous permet d'identifier les astres que vous observez en pointant simplement votre appareil vers eux.



LE 12, 1 H AVANT LE LEVER DU SOLEIL, le fin dernier croissant de Lune et sa lumière cendrée seront à un peu plus de 7° de la planète Vénus, dans la constellation de la Balance.



AUTOUR 14, VOUS POURREZ OBSERVER, en fin de nuit, jusqu'à une centaine de météores par heure. Ils sont issus du très bel essaim d'étoiles filantes des Géminides.



DU 22 AU 24, À LA NUIT TOMBÉE, la Lune en phase gibbeuse croissante rendra visite à la planète Mars. Le 23, vous trouverez Mars à 6° au nord de notre satellite, dans les Poissons.

QUESTIONS DE LECTEURS

Sur notre site **sciencesetavenir.fr,** la rédaction répond à des questions scientifiques posées par nos lecteurs sur notre page **Facebook.** En voici une sélection.

ENVIRONNEMENT

D'où vient la poussière à la maison ?

Cyrielle B.

La poussière domestique est un pot-pourri qui comprend des peaux mortes, des fibres textiles, ainsi que de la terre et des particules provenant de l'extérieur, à en croire David Layton et Paloma Beamer, deux chercheurs de l'université de l'Arizona (États-Unis), qui ont dressé un premier inventaire en 2009. Une liste à laquelle la Société canadienne de l'asthme ajoute les fibres de cellulose, des fragments de phanères humains et animaux (poils, ongles...), de corps d'insectes, d'aliments et des spores de moisissures. À noter qu'elle peut contenir des substances nocives tel que du plomb ou de l'arsenic. ■ **A.-S. T. et J. I.**

GÉOLOGIE

Combien pèse l'ensemble des constructions humaines sur Terre ?

Julien P.

Environ 30 000 milliards de tonnes, soit 50 kg par mètre carré. C'est le résultat du calcul d'une équipe menée par Jan Zalasiewicz, du département de géologie de l'université de Leicester (Royaume-Uni) qui a, en 2016, estimé la masse de la « technosphère », c'est-à-dire « l'ensemble des structures que les humains ont construites ». À comparer avec la masse de la Terre elle-même : 6000 milliards de milliards de tonnes soit 20 millions de fois plus. Par ailleurs, en 2020, une équipe internationale a quantifié pour l'empreinte des constructions humaines sur les océans (ponts, plates-formes, récifs artificiels, etc.) : elles couvrent 30 000 km², soit 0,008 % de la surface océanique. ■ **J. I.**

BRUNO GUÉNARD/NATURAGENCY

Chez l'otarie, un ancien animal terrestre, les pattes se sont transformées en nageoires.

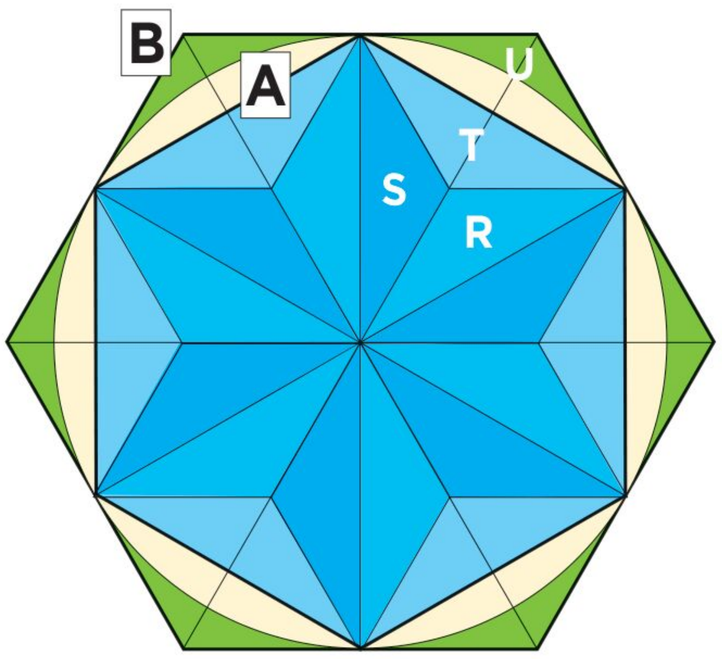
PALÉONTOLOGIE

Des animaux sont-ils retournés à l'eau au cours de l'évolution ?

David P.

Sur notre planète, la vie est apparue dans l'eau il y plus de 3,5 milliards d'années. Quelques bactéries se seraient aventurées sur la terre dès il y a 3,48 milliards d'années, mais la véritable « sortie des eaux » s'est produite beaucoup plus tard, il y a environ 450 millions d'années. C'est à ce moment que les premiers animaux (mollusques, arthropodes et vertébrés) sont partis à la conquête des continents, selon l'expression consacrée. La plupart des animaux qui ont découvert la terre ferme s'y sont adaptés, mais certains sont bien retournés à l'eau dans un second temps. Les premiers à avoir fait le voyage dans le sens inverse, de la terre vers la mer, sans doute pour des causes environnementales ou en quête de nourriture, sont les reptiles avec les tortues de mer, les ichtyosaures, les plésiosaures, les mosasaures, les crocodiles et certains squamates dont de nombreux serpents qui sont devenus marins. À l'exception des serpents qui avaient « perdu » leurs pattes sur terre avant de retourner en mer, les autres reptiles (tortues et crocodiles de nos jours) ont conservé leurs attributs les plus emblématiques de leur passé terrestre, à savoir les pattes. C'est également le cas des mammifères marins comme les loutres. Chez les pinnipèdes (morses, otaries et phoques), les transformations sont plus importantes : les pattes avant ont pris la forme de nageoire. Même chose chez les siréniens (lamantins et dugongs) qui ont, eux, perdu en plus leurs pattes arrière. Mais les transformations les plus radicales se retrouvent chez les cétacés qui se sont tellement adaptés à l'eau qu'il est difficile de les différencier des espèces qui ne l'ont jamais quittée : les requins ont presque la même allure que les dauphins (qui ont un passé terrestre). ■ **Joël Ignasse** @IgnasseJ

Solutions des jeux parus dans « Sciences et Avenir-La Recherche » n° 885, novembre 2020



Un cercle et ses hexagones

Faisons pivoter l'hexagone inscrit A pour amener ses sommets aux centres des côtés du circonscrit B. A est composé de 6 triangles, chacun composé des triangles S+R+T. Chacun des 6 triangles est équilatéral : angle de 60° entre deux côtés égaux. Par construction, S, R, T et U sont isocèles et égaux. Il ne reste plus qu'à compter ces triangles élémentaires pour comparer les aires : l'inscrit en totalise 18 et le circonscrit 24, ce qui en fait les 4/3 de l'inscrit.

Hautes fréquences

La fréquence d'apparition des lettres correspond à l'ordre des lettres dans ce mot : le S apparaît une fois, le C, 2 fois, le O, 3 fois, le L, 4 fois, le A, 5 fois, le I, 6 fois, le R, 7 fois, le E, 8 fois ; le mot est SCOLAIRE.

Noces d'or chez Cotillon

Pour plus de facilité, renommons F1, F2… les femmes et H1, H2… les hommes dans l'ordre où ils sont cités. On a les femmes à gauche, les hommes à droite : F1 F2 F3 F4 H1 H2 H3 H4.
Pour respecter la condition 4, permutons F3 avec F4 : F1 F2 F4 F3 H1 H2 H3 H4.
Pour obtenir la condition 3, permutons F2 avec F3 et H2 avec H3 : F1 F3 F4 F2 H1 H3 H2 H4.
Pour obtenir la condition 1, il faut mettre un homme à gauche de Mélanie (F1). Pour cela mettons H1 à la place de H2, F1 à la place de H1 et H2 à la place de F1 : H2 F3 F4 F2 F3 H3 H1 H4.
Enfin la condition 2 sera remplie en permutant H2 et F2 qui étaient bien séparés par deux personnes mais gauche-droite au lieu de droite-gauche : F2 F3 F4 H2 F1 H3 H1 H4.
Soit : Josette, Chloé, Adeline, Hector, Mélanie, Paul, Octave et Jean.

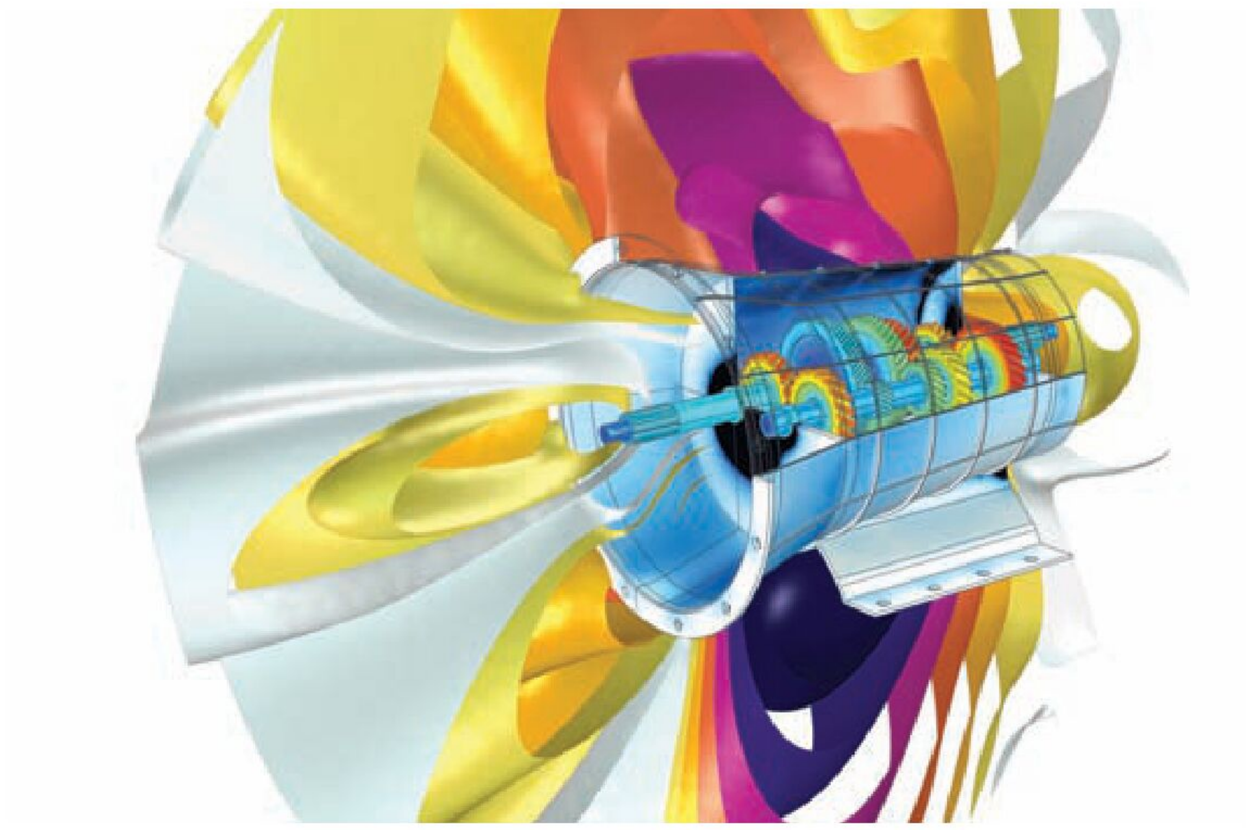
Citations croisées

La science consiste à passer d'un étonnement à un autre.

Dîners stratégiques

Peu d'indices pour identifier la bataille sauf… les initiales des amis. Elles s'écrivent MDCCCXV, soit 1815. Il ne peut s'agir que de Waterloo.

Des simulations de tests de bruit et vibrations que vous pouvez voir et entendre !



Visualisation du niveau de pression acoustique à l'extérieur de la boîte de vitesse et des contraintes de von Mises induites par les vibrations dans son carter.

L'approche la plus efficace pour réduire le rayonnement sonore d'une boîte de vitesses consiste à effectuer une analyse vibro-acoustique pour savoir comment en améliorer la conception. Les essais de bruit, vibrations (NVH) sont une partie importante du processus de conception et peuvent être simulés avec un logiciel multiphysique.

Le logiciel COMSOL Multiphysics® est utilisé pour la conception et la simulation des composants et des procédés dans tous les domaines de l'ingénierie, de la fabrication et de la recherche. Découvrez comment vous pouvez l'appliquer pour la modélisation des vibrations et du bruit des boîtes de vitesses.

comsol.blog/NVH-simulation

COMSOL

« On a compris l'enjeu du climat, pas celui du vivant »

Alors que la prochaine décennie est annoncée comme cruciale pour stopper l'érosion de la biodiversité, l'enseignant-chercheur Gilles Bœuf et la sociologue Isabelle Arpin plaident pour que la préservation de la faune et de la flore soit enfin reconnue comme une priorité.

Dialogue animé par Loïc Chauveau @Loic_Chauveau

Quel bilan tirez-vous des politiques de protection des milieux naturels en France qui ont débuté dans les années 1960 ?

Isabelle Arpin : La création de zones protégées est venue du constat qu'une espèce ne pouvait être pérennisée qu'en protégeant son milieu naturel. C'est ce qui a justifié, par exemple, la création du parc national de la Vanoise en Savoie en 1963, pour protéger le bouquetin. Cette politique a donné des résultats majeurs. Le bouquetin n'est plus menacé, mais c'est aussi vrai pour nombre d'écosystèmes remarquables et de paysages. Sans les parcs nationaux et les différents statuts de préservation, des régions magnifiques auraient été défigurées. Ces aires protégées ont aussi permis de développer un autre rapport à la nature qui n'est plus simplement considérée comme une ressource à exploiter, mais qui existe par elle-même. Or ce rapport privilégié à la nature, nous ne pouvons plus l'avoir que dans ces espaces préservés. Pourtant, si la création d'aires protégées est essentielle, elle n'est pas suffisante. Il faut aussi y mettre des moyens financiers, payer des hommes et des femmes qui s'assurent que la protection est bien réelle et font respecter les règles de gestion sous peine de créer des réserves de papier [le budget 2020 de l'Office français de la biodiversité s'élève à 433 millions d'euros dont 66,5 millions pour les 11 parcs nationaux].

DOMINIQUE DELFINO / BIOSPHOTO

La France compte 300 sites protégés avec des statuts (parc national, régional, réserve, Natura 2000, etc.) et des richesses très divers.

Gilles Bœuf : Il y a eu de fabuleuses réussites. Je préside deux réserves, l'une sur terre avec la forêt de la Massane et l'autre en mer avec la réserve marine de Banyuls-Cerbère, toutes deux situées dans les Pyrénées-Orientales. Pour voir des fonds marins tels qu'on se les imagine intouchés depuis plus d'un siècle, il faut plonger à Banyuls, dernier endroit où l'on peut admirer des massifs exceptionnels avec leurs gorgones. Ce sont de tout petits espaces ! La réserve marine couvre 650 hectares, la forêt de Massane 337 hectares. Mais cette dernière recèle 2000 espèces de coléoptères dont certaines sont endémiques. Si nous n'avions pas protégé la Massane en 1973, ce serait aujourd'hui un golf.

Arrêtés de biotope, réserves naturelles, zones Natura 2000, parcs naturels… N'est-il pas trop difficile de s'y retrouver ?

G. B. : j'ai effectivement du mal à expliquer la différence entre un parc national ou régional ou une réserve ! Il y a plus de 300 sites protégés en France avec des statuts différents mais aussi des richesses différentes. La forêt de la Massane compte ainsi 8000 espèces tandis que l'inventaire du parc du Mercantour (Alpes-Maritimes) en recense 10 000. Mais le Mercantour est bien plus vaste et pose bien d'autres problèmes de gestion en matière d'usages et de surveillance. Quant au parc naturel de la mer de corail, en Nouvelle-Calédonie, il est plus grand que la France ! Comment surveiller sachant bien sûr qu'il est hors de question d'interdire toute activité humaine sur de si grands espaces ? Le Mercantour sans les

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

humains, ce n'est pas imaginable. En revanche, en autorisant la présence de 5000 moutons qui deviennent 50 000 au fil du temps, ça ne va pas non plus. Il faut constamment trouver des équilibres.

I. A. : Il existe effectivement une grande complexité de statuts, des différences pouvant même exister entre deux réserves contiguës, l'une autorisant les chiens, l'autre pas, par exemple. Cette complexité est le résultat d'une histoire. Il existe ainsi beaucoup de réserves naturelles en Haute-Savoie parce qu'il n'a pas été possible de créer un parc national global en raison des diverses oppositions locales. Le choix a donc été fait de créer des petites réserves naturelles. Mais là encore, cela n'a pas toujours été possible et il a fallu prendre des arrêtés préfectoraux de protection des biotopes pour des zones encore plus petites. La principale difficulté est la légitimité. Ces différents statuts en sont l'illustration. Pas facile de convaincre les différents acteurs locaux de l'intérêt même de la préservation.

La création d'aires protégées est régulièrement critiquée comme étant une façon d'exclure l'activité humaine en mettant « la nature sous cloche ». Est-ce un risque selon vous ?

G. B. : Les réserves suscitent toujours beaucoup d'inquiétudes économiques. Ainsi, dans les Pyrénées-Orientales, les objectifs de préservation sur la zone protégée du littoral d'Argelès — fréquentée en juillet par 700 000 estivants — sont beaucoup plus ardus à atteindre que dans la forêt de la Massane, qui nécessite de marcher plus d'une heure pour s'y rendre. À Banyuls, les pêcheurs, initialement craintifs, sont aujourd'hui rassurés de pouvoir toujours pêcher autour de la réserve intégrale. Celle-ci constitue par ailleurs une très efficace nurserie pour les poissons qui essaiment en dehors de la réserve et leur profite. Cet effet positif a été bien mesuré partout dans le monde. Nous ne sommes pas particulièrement un pays en avance sur ce point. L'Allemagne a plus de zones protégées que nous alors que la densité d'habitants y est plus forte.

Gilles Bœuf, biologiste, est professeur à l'université Pierre-et-Marie-Curie, à Paris. Ancien président du Muséum national d'histoire naturelle à Paris et professeur invité au Collège de France (2013-2014).

Isabelle Arpin, sociologue, est chercheuse à l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae). Elle est membre du conseil scientifique de la Fondation pour la recherche sur la biodiversité (FRB).

« La biodiversité n'est pas encore considérée comme essentielle au maintien de la vie sur Terre telle que nous la connaissons »
Isabelle Arpin

I. A. : Cette expression de « *mettre la nature sous cloche* » est très excessive et largement fausse. La création de zones protégées n'a jamais signifié la fin des activités, sauf pour la chasse. Le pastoralisme, l'activité forestière perdurent. Le tourisme a même parfois été lancé par la renommée d'un statut d'espace protégé.

Est-ce que le regard sur la nature a changé en France avec l'essor des politiques de protection ?
I. A. : La création d'aires protégées continue d'être difficile en France comme en Europe pour les raisons que nous venons d'évoquer. Il faut aussi noter que les endroits qui profitent de ces mesures sont ceux où la nature se porte mieux qu'ailleurs. De fait, les riverains estiment que leurs pratiques suffisent à maintenir la biodiversité et ressentent donc moins le besoin de créer ces protections que des urbains par exemple. En outre, ils veulent rester maîtres chez eux. Sans compter les mauvaises expériences. Lors de la création de certaines zones, les porteurs du projet ont beaucoup promis en matière de développement, suscitant des espoirs déçus.

G. B. : J'ai rencontré des gens opposés à la création d'une aire protégée mais qui, dix ans plus tard, s'en disent heureux. L'un des problèmes majeurs est le tourisme de masse qui a dégradé des réserves comme Scandola en Corse ou les Écrins dans les Alpes, au point que l'Union européenne leur a retiré leur statut. Cela veut dire que malgré la réglementation, ce qu'il fallait faire n'a pas été fait.

Ces protections n'ont en rien empêché l'érosion de la biodiversité, la diminution des populations d'animaux sauvages. Les zones naturelles ne sont-elles pas des pis-aller ?
I. A. : Les mentalités n'ont pas suffisamment évolué sur ce point. Il est dramatique de constater que l'on continue de se moquer de ceux qui s'occupent des « petits oiseaux » ou des « petites fleurs ». Si une grande partie de l'opinion et des décideurs a compris l'enjeu du réchauffement climatique, ce n'est pas le cas pour la biodiversité. Elle n'est pas encore considérée comme essentielle pour le maintien de la vie sur Terre telle que nous la connaissons et donc pour notre propre existence. Peu de gens comprennent, par exemple, l'importance vitale pour l'humain que représentent les populations d'insectes qui connaissent pourtant un terrible effondrement.

G. B. : Difficile de faire prendre conscience de ce fait alors que nous perdons les postes scientifiques qui s'intéressent à ces « petites bêtes » pourtant essentielles au fonctionnement des écosystèmes. En leur absence, qui va alerter sur l'enjeu de ces disparitions ? Il y a trois ans, en Allemagne, des chercheurs ont pesé les insectes récupérés dans des pièges et ont comparé leurs résultats avec ceux d'une même expérience menée vingt-sept ans plus tôt. Trois quarts de cette masse avaient disparu et ce, sur des espaces protégés. En France, nous avons perdu un tiers des oiseaux sur les zones agricoles. Nicolas Hulot, alors ministre de la Transition écologique et solidaire, s'en est indigné le 20 avril 2018 à l'Assemblée nationale. Les députés y ont pensé une petite semaine. Puis sont repartis sur autre chose.

La COP 15 qui devrait se réunir en 2021 en Chine, pourrait valider l'objectif de stopper l'érosion de la biodiversité d'ici à 2030. Que doit-on mettre en œuvre pour y parvenir ?
G. B. : Changer de mentalité ! *Homo sapiens* doit considérer qu'il est un fragment d'une mosaïque composée de plantes, d'animaux et de leurs interactions. Tout ce qu'on mange, c'est du vivant. Tout au long de l'histoire de la Terre, la nature a connu les pires avatars. Elle s'est adaptée. Et pour s'adapter, il faut changer. Nous avons besoin d'aires pro-

LE NUMÉRIQUE
À LIRE : la version intégrale du dialogue sur notre site **sciencesetavenir.fr**

MATHIEU FOULQUIÉ / BIOSPHOTO

Une rascasse dans la réserve naturelle marine de Cerbère-Banyuls (Pyrénées-Orientales). Cette aire protégée est un des derniers lieux où admirer des fonds coralliens avec leurs gorgones.

tégées mais aussi de transformations profondes de nos modes de production et de consommation. Un exemple : 100 000 avions volaient chaque jour dans le monde en janvier 2020, avant la crise sanitaire du Covid-19. Il ne faut surtout pas revenir à cette situation.

I. A. : Il faut faire reconnaître l'érosion de la biodiversité comme l'une des facettes de la crise en cours. Toute décision politique, économique, climatique ne doit pas se faire aux dépens de la biodiversité. Il faut aussi s'attaquer aux inégalités sociales et économiques qui sont une cause importante de dégradation de la nature. Et on ne progressera pas sans une régulation des marchés économiques et financiers. ■

« Nous avons besoin de transformations profondes de nos modes de production et de consommation »

Gilles Bœuf

La Recherche
Éthique

PAR JEAN-GABRIEL GANASCIA *

Haine en ligne et liberté d'expression

Samuel Paty, professeur d'histoire-géographie au collège du Bois d'Aulne à Conflans-Sainte-Honorine a été décapité le 16 octobre 2020 pour avoir voulu enseigner à ses élèves la liberté d'expression. Beaucoup rendent les réseaux sociaux responsables des flots d'injures qui se déversèrent sur cet enseignant et qui convainquirent un jeune fanatique d'à peine 18 ans d'aller l'assassiner. Pour éviter que cela ne se reproduise, certains voudraient exiger des réseaux sociaux qu'ils modèrent leurs contenus. À cet effet, au début de l'année 2020, le Parlement avait voté la loi contre les contenus haineux sur Internet — dite aussi loi Avia du nom de la députée Laetitia Avia qui l'avait portée. Toutefois, dans sa grande sagesse, le Conseil constitutionnel l'avait jugée tout à la fois louable dans ses intentions, et contraire à la Constitution. Rappelons que la haine est un sentiment. On ne saurait donc la réprimer en tant que telle. La loi Avia faisait obligation aux hébergeurs et aux éditeurs de services informatiques en ligne de retirer sous 24 heures et sur mandat de l'autorité administrative, des contenus à caractère pédopornographique ou terroriste signalés par des internautes. Si elle avait été en vigueur, les incitations aux meurtres diffusées en ligne auraient peut-être été stoppées à temps pour empêcher ce sordide assassinat. Mais, dans le même temps, on peut craindre que d'autres internautes aient signalé les caricatures de *Charlie Hebdo* et que les réseaux sociaux, pour se prémunir de poursuites judiciaires, les aient retirées, bien que licites, ce qui aurait grandement porté atteinte à la liberté d'expression. Le retour de la loi Avia, que certains préconisent, ferait donc mourir une nouvelle fois Samuel Paty. En effet, en soumettant les publications en ligne au bon vouloir de quelques internautes, sans contrôle de la justice, la liberté d'expression pour laquelle il s'était mobilisé risquerait fort d'être battue en brèche. ■

> « Le retour de la loi Avia ferait mourir Samuel Paty une nouvelle fois »

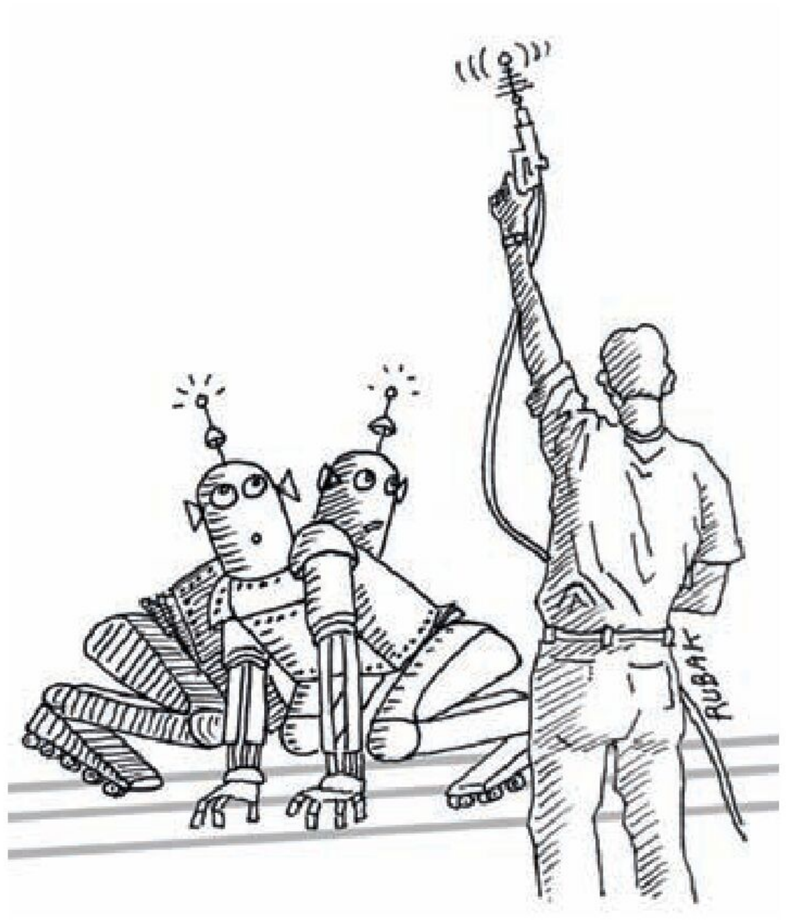
BRUNO LÉVY

* Président du comité d'éthique du CNRS, professeur à Sorbonne Université, à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS). Dernier ouvrage publié : *Le Mythe de la singularité. Faut-il craindre l'intelligence artificielle ?* Le Seuil, 2017.

PAR PIERRE BERLOQUIN

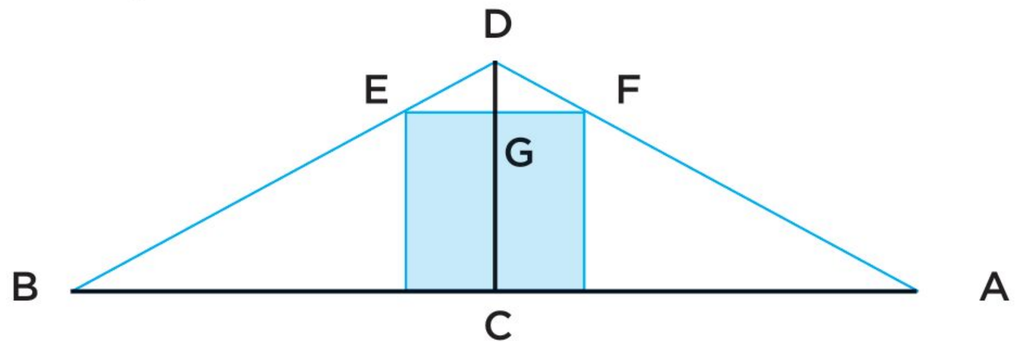
Énigmes, logique et mathématiques

Retrouvez chaque mois des problèmes ludiques pour solliciter votre curiosité. Solutions dans le prochain numéro.



Robot et robot

Dans une usine, deux robots R1 et R2 font simultanément les trajets suivants : R1 part de A, va jusqu'en B et retourne au point A. Pendant ce temps-là, R2 part de C, va jusqu'au point D et retourne au point C. R1 et R2 mettent exactement le même temps pour faire leur aller-retour. Le quadrilatère au centre du triangle ABD est un carré de 40 m de côté et la valeur de CA est de 100 m.
Quelle est la longueur de CD ?



Séries improbables ?

Saurez-vous trouver un *item* logiquement suivant pour chacune de ces séries ?

- Tr, Ca, Pe, He...
- 60, 90, 108, 120...
- A5, B4, G5, D5...
- Ve, Br, Fr, Ni...

Mathématiciens & mathématiciens

Dans chaque ensemble, chaque nom se lit en suivant des lettres qui se touchent, horizontalement ou verticalement. La même lettre ne peut être utilisée plusieurs fois. 11 mathématiciens figurent, comme GAUSS, à la fois à gauche et à droite. Quel est le douzième ?

S	R	E	M	N	A	O	I		
E	N	F	E	T	H	P	D		
E	N	I	B	G	A	H	T		
C	A	N	O	O	R	E	Y		
C	I	U	A	G	L	A	P		
E	R	S	S	I	E	H	E		
L	U	E	L	L	S	T	N		
A	M	O	U	S	E	T	E	T	A
T	R	N	R	C	A	R	H	O	R
F	E	B	E	S	E	D	T	S	E

A	L	N	R	E	B	E	T	S	E
H	E	O	U	L	L	R	H	O	R
T	S	F	E	R	I	O	E	T	A
T	E	S	G	M	A	G	N	E	P
R	A	C	A	S	T	A	H	T	Y
D	E	S	U	S	I	D	L	U	E
		A	H	P	O	M	E	R	P
		N	T	E	R	E	C	S	A
		N	N	E	S	L	A	F	I
		E	I	C	C	A	N	O	B

Auto-référente

Dans cette grille, les valeurs (gros chiffres) des deux colonnes de gauche indiquent le nombre d'occurrences de chaque chiffre (de 0 à 9) présent dans l'ensemble de la grille. Le coin en haut à gauche de ces 10 cases indique de quel chiffre il s'agit. Saurez-vous compléter la grille de façon cohérente, l'emplacement des chiffres dans les colonnes blanches étant indifférent ?

1 **3**	6 **4**	**6**	**6**	
2	7	**7**	**8**	**9**
3 **4**	8 **3**	**7**	**0**	**1**
4 **2**	9		**1**	**0**
5 **0**	0 **3**	**8**	**6**	**7**

Un dîner très topologique

Quatre amis, dont Denis qui est notaire, sont assis pour dîner autour d'une table. Parmi les trois autres, il y a un entrepreneur, un bouquiniste et un musicien.
1 - Denis est assis à la gauche de Norbert.
2 - Thomas est à la droite de l'entrepreneur.
3 - Samuel, assis en face de Norbert, n'est pas le bouquiniste.

Quel est le métier de Thomas ?

Énigmes Créalude, Pierre Berloquin, Jean-Thierry Garrigues

33 GRANDS TITRES DE PRESSE PRIX IMBATTABLE !

PRIX UNIQUE
39€
l'abonnement

Jusqu'à
-77%
de remise

rue des étudiants
JE SUIS ÉTUDIANT, JE M'ABONNE

BULLETIN D'ABONNEMENT ÉTUDIANT

A renvoyer complété et accompagné de votre règlement, sous enveloppe non affranchie à :
RUE DES ETUDIANTS - LIBRE REPONSE 82532 - 75803 PARIS CEDEX 08

ACTUALITÉ INTERNATIONALE

- ☐ **Courrier international** | Hebdomadaire | 26 nos
- ☐ **Time** | Hebdomadaire | 35 nos
- ☐ **Le Monde diplomatique** | Mensuel | 12 nos
- ☐ **Vocable** | Bimensuel | 21 nos
  ☐ Anglais ☐ Allemand ☐ Espagnol (cochez l'édition choisie)

ACTUALITÉ GÉNÉRALE

- ☐ **Le Monde Sélection hebdomadaire** Hebdomadaire | 26 nos
- ☐ **Alternatives Economiques** | Mensuel | 11 nos
- ☐ **L'Obs** | Hebdomadaire | 26 nos
- ☐ **Le 1** | Hebdomadaire | 39 nos
- ☐ **Politis** | Hebdomadaire | 18 nos + web illimité + 1 hors-série en version num
- ☐ **Society** | Bimensuel | 24 nos

CULTURE GÉNÉRALE

- ☐ **L'éléphant** | Trimestriel | 3 nos
- ☐ **Sciences Humaines** | Mensuel | 11 nos
- ☐ **Philosophie magazine** | Mensuel | 8 nos
- ☐ **Zadig** | Trimestriel | 3 nos
- ☐ **Papiers** | Trimestriel | 4 nos

SCIENCES

- ☐ **Sciences et Avenir** | Mensuel | 10 nos + 1 n° double + 4 hors-séries
- ☐ **Science & Vie** | Mensuel | 12 nos + web illimité
- ☐ **Sport & Vie** | Bimestriel | 6 nos + 2 hors-séries

DÉBATS

- ☐ **L'Economie politique** | Trimestriel | 6 nos
- ☐ **Futuribles** | Bimestriel | 3 nos
- ☐ **La Revue des Deux Mondes** | Mensuel | 6 nos
- ☐ **Études** | Mensuel | 6 nos

HISTOIRE ET GÉOGRAPHIE

- ☐ **L'Histoire** | Mensuel | 10 nos + 1 n° double
- ☐ **Histoire & Civilisations** | Mensuel | 11 nos
- ☐ **Population & Avenir** | Bimestriel | 7 nos
- ☐ **La Revue Urbanisme** | Trimestriel | 6 nos

ART ET PASSION

- ☐ **Beaux Arts magazine** | Mensuel | 10 nos
- ☐ **Connaissance des arts** | Mensuel | 8 nos
- ☐ **Ideat** | Bimestriel | 10 nos
- ☐ **Polka** | Trimestriel | 6 nos
- ☐ **Les Inrockuptibles** | Hebdomadaire | 26 nos
- ☐ **Télérama** | Hebdomadaire | 21 nos
- ☐ **So Foot** | Mensuel | 10 nos

1. COCHEZ LE OU LES ABONNEMENTS QUE VOUS CHOISISSEZ

2. TOTAL DE MA COMMANDE

Merci de vérifier si vous avez coché la ou les revues souhaitée(s).

☐ 1 abonnement → **39 €**
☐ 2 abonnements → **69 €**
☐ 3 abonnements → **99 €**
☐ autre (30 € par abonnement supplémentaire),

soit _____ abonnements → Total _____ €

3. MES COORDONNÉES - Merci d'écrire en majuscule.

☐ M ☐ Mme Nom _____

Prénom _____

Adresse (France métropolitaine seulement) _____

_____

Code Postal |_|_|_|_|_| Ville _____

Email _____

J'accepte de recevoir par email des offres de Rue des Etudiants ☐ oui ☐ non

J'accepte de recevoir par email des offres des partenaires de Rue des Etudiants ☐ oui ☐ non

4. JE RÈGLE LA SOMME DE

☐ 39€ ☐ 69€ ☐ 99€ ☐ autre montant _____ €

par : ☐ Chèque à l'ordre de Rue des Etudiants

☐ CB ☐ Visa ☐ Mastercard

N° |_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_|

Date d'expiration |_|_| |_|_|

Cryptogramme (Les 3 chiffres au dos de votre carte) |_|_|_|

Date et signature obligatoires :

En retournant ce formulaire, vous acceptez que Rue des Etudiants, responsable de traitement, utilise vos données pour les besoins de votre commande, de la relation Client et d'actions commerciales. Pour connaître les modalités de traitement de vos données et d'exercice de vos droits (accès, rectification, effacement, opposition, portabilité, limitation des traitements, sort des données après décès), consultez notre politique de confidentialité à l'adresse http://www.ruedesetudiants.com/ ou écrivez à notre DPO – 67/69 avenue Pierre-Mendès France - 75013 Paris ou dpo@groupelemonde.fr.

Je certifie être étudiant(e) ☐ Année d'étude _____

Filière _____

PASCA2

Offre valable jusqu'au 30 juin 2021.

Abonnez-vous encore plus vite sur rue des etudiants.com

L'ART DU CAFÉ

L'OR

Découvrez

L'ALLIANCE PARFAITE
D'ARÔMES INCOMPARABLES

L'OR SANS DOUTE LE MEILLEUR CAFÉ DU MONDE

JACOBS DOUWE EGBERTS FR SAS – 30 BIS RUE DE PARADIS, 75010 PARIS, FRANCE – 810 029 413 RCS PARIS – SAS AU CAPITAL DE 16.594.157,70 EUROS.